



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH ROBOTICKÉ BUŇKY PRO OBSLUHU TRYSKAČE  
PRO ČIŠTĚNÍ ODLITKŮ**

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR OPERATING A JET MACHINE FOR CLEANING CASTINGS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Vojtěch Vrána**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Aleš Pochylý**

**BRNO 2021**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Vojtěch Vrána**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty  
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh robotické buňky pro obsluhu tryskače pro čištění odlitků

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro obsluhu tryskače pro čištění odlitků ze slitiny hliníku. Typů odlitků je několik a linka musí být maximálně bezobslužná. Automatizace bude řešit způsob zakládání odlitků na pás tryskače, způsob odebrání hotových kusů z pásu a jejich ukládání do finální pozice. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW Siemens Process Simulate pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

### Cíle diplomové práce:

Specifikace zadání – rozbor zadané problematiky.

Návrh možností řešení pro zadaný typ aplikace.

Konstrukční návrh dílčích částí pracoviště (koncové efektory, přípravky, oplocení, krytování apod.)

Ověření funkčnosti řešení ve virtuálním prostředí – v SW Siemens Process Simulate.

Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Hlavním cílem diplomové práce je návrh robotizované buňky pro zajištění obsluhy průběžného tryskacího stroje. Obsluha průběžného tryskacího stroje spočívá v robotické manipulaci hliníkových odlitků ze vstupní bedny na dopravníkový pás tryskacího stroje. Po otryskání hliníkových odlitků, dochází k robotické manipulaci odlitků z dopravníkového pásu stroje do výstupní bedny. Součástí diplomové práce je návrh několika variant řešení robotizované buňky. Následně je proveden výběr nejvhodnějšího řešení. Práce se také zabývá konstrukčním návrhem a výběrem potřebných komponent robotizované buňky. Ověření funkčnosti navrženého řešení je provedeno v softwaru Tecnomatix Process Simulate. Součástí práce je také technicko-ekonomické zhodnocení.

## **ABSTRACT**

The main goal of this master's thesis is to create a design of robotic cell for operating of blasting machine. Operation of blasting machine consists of robotic manipulation of aluminium castings from input container to the blasting machine conveyor. After blasting operation aluminium castings are manipulated by robot from conveyor to output container. The part of the master's thesis is proposal of several variants of solution of design of robotic cell. Afterwards the best option is selected. The thesis also deals with design and selection of functional components in robotic cell. Functional verification of robotic cell is made in software Tecnomatix Process Simulate. Technical-economics evaluation is also part of this master's thesis.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Robotická buňka, Návrh robotické buňky, Tryskací stroj, Automatizace, Robotika, KUKA, Tecnomatix Process Simulate, Simulace

## **KEYWORDS**

Robotic cell, Design of robotic cell, Blasting machine, Automation, Robotics, KUKA, Tecnomatix Process Simulate, Simulation



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VRÁNA, Vojtěch. *Návrh robotické buňky pro obsluhu tryskače pro čištění odlitků* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133152>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.





## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Pochylého a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.5.2021

.....

Vojtěch Vrána



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji Ing. Aleši Pochylému za pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Poděkování patří také společnosti Rösler Oberflächentechnik GmbH za poskytnutí výkresové dokumentace tryskacího stroje. Dále děkuji celé rodině za podporu a trpělivost při studiu.



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
1.1	Motivace .....	15
1.2	Robotizace .....	15
<b>2</b>	<b>SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>17</b>
2.1	Technologie opracování povrchu tryskáním.....	17
2.1.1	Tryskání metacím kolem .....	17
2.1.2	Tlakovzdušné tryskání .....	18
2.2	Roboty.....	19
2.2.1	Roboty se sériovou kinematikou .....	19
2.2.2	Roboty s paralelní kinematikou .....	21
2.3	Způsob programování .....	21
2.3.1	Online programování průmyslových robotů.....	22
2.3.2	Off-line (OLP) programování průmyslových robotů .....	22
2.4	Koncové efekторы.....	24
2.4.1	Manipulační koncové efekторы .....	24
2.4.2	Automatická výměna koncových efektorů .....	27
2.5	Technologie Bin-Picking .....	28
<b>3</b>	<b>SPECIFIKACE ZADÁNÍ A ZPŮSOB ŘEŠENÍ.....</b>	<b>31</b>
3.1	Specifikace zadání .....	31
3.1.1	Zpracovávané odlitky a jejich parametry .....	32
3.2	Zvolený způsob řešení .....	33
3.3	3D model průběžného tryskacího stroje .....	33
3.3.1	Vizualizace 3D modelu .....	34
3.3.2	Konkrétní prostorová omezení .....	35
<b>4</b>	<b>NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A JEJICH ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>37</b>
4.1	Varianta č.1 .....	37
4.2	Varianta č.2 .....	37
4.3	Varianta č.3 .....	38
4.4	Vícekritériální analýza pro výběr varianty .....	39
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH POTŘEBNÝCH KOMPONENT .....</b>	<b>41</b>
5.1	Návrh konstrukce koncových efektorů pro manipulaci s odlitky .....	41
5.1.1	Koncový efektor pro odlitek č.1 .....	41
5.1.2	Koncový efektor pro odlitek č.2 .....	47
5.2	Návrh konstrukce koncového efektoru pro manipulaci s překlady .....	53
5.3	Kontrola adaptéru automatické výměny koncových efektorů .....	57
5.4	Návrh konstrukce odkladače koncových efektorů.....	58
5.5	Konstrukce dorazu na palety.....	61
5.6	Konstrukce stojanu pro Bin picking .....	62
5.7	Konstrukce stojanu pro výstupní kamerový systém .....	64
<b>6</b>	<b>VÝBĚR ROBOTŮ.....</b>	<b>65</b>
6.1	Konstrukce příruby robotu KUKA KR50 R2500 .....	67
<b>7</b>	<b>VÝBĚR BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ .....</b>	<b>69</b>
7.1.1	Ochranné oplocení vstupní části buňky.....	69
7.1.2	Ochranné oplocení výstupní části buňky.....	69
7.1.3	Bezpečnostní zámek dveří .....	70
7.1.4	Tlačítko nouzového zastavení .....	71

7.1.5	Signální sloupy .....	71
<b>8</b>	<b>SIMULACE V TECHNOMATIX PROCESS SIMULATE .....</b>	<b>73</b>
8.1	Vytvoření trajektorií .....	73
8.2	Definice funkčnosti komponent .....	74
8.2.1	Definice pásového dopravníku tryskacího stroje .....	74
8.2.2	Definice koncových efektorů .....	76
8.2.3	Definice odkladače koncových efektorů .....	78
8.3	Nastavení robotu.....	80
8.4	Line Simulation Mode – definice logiky událostně řízené simulace .....	82
8.4.1	Řízení simulace .....	84
8.5	Vyhodnocení simulace .....	85
<b>9</b>	<b>TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>87</b>
<b>10</b>	<b>DOPORUČENÍ PRO PRAXI .....</b>	<b>89</b>
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ .....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>101</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>103</b>

# 1 ÚVOD

## 1.1 Motivace

Motivací pro výběr tohoto tématu diplomové práce byl především můj dlouhodobý zájem o problematiku průmyslové robotiky, automatizace a návrhu robotizovaných technologických pracovišť. Během studia na Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně, jsem měl možnost, seznámit se s nejrůznějšími poznatky a nástroji, které jsou využívány v robotických aplikacích v průmyslové praxi. Dále jsem měl zájem, zpracovat téma, které svým zaměřením, odráží reálný projekt v průmyslové praxi.

## 1.2 Robotizace

Díky rychlému rozvoji hardwaru a softwaru je možné ve stále větší míře, inovovat procesy ve výrobních i nevýrobních podnicích. Využití robotizovaných technologických pracovišť roste se zvyšujícími se požadavky zákazníků na vyšší kvalitu a kvantitu výroby, zkrácení výrobních časů a v neposlední řadě také s požadavkem na nižší výrobní náklady. Správně navržená robotizovaná technologická pracoviště, umožňují tyto požadavky splnit. [1]

Potřebu robotizace mohou v podniku zapříčinit různé okolnosti. Mezi nejčastější příklady patří např: [1]

- Vývoj nových technologií
- Modernizace výrobních soustav
- Inovace výrobních prostředků a výrobků
- Rozvoj znalostí a schopností pracovníka
- Potřeba zvyšování produktivity
- Odstranění fyzicky namáhavé a monotónní práce

V současné době je velkým problémem také nízká nezaměstnanost a neschopnost podniků najít jak kvalifikované, tak i nekvalifikované pracovníky. Nedostatek pracovníků je jedním z největších překážek, které brání podnikům v rozvoji a růstu. To je tedy důvod, proč podniky stále více investují do technologií, kterými se snaží čelit nedostatku pracovníků na trhu práce. [2]





## 2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 2.1 Technologie opracování povrchu tryskáním

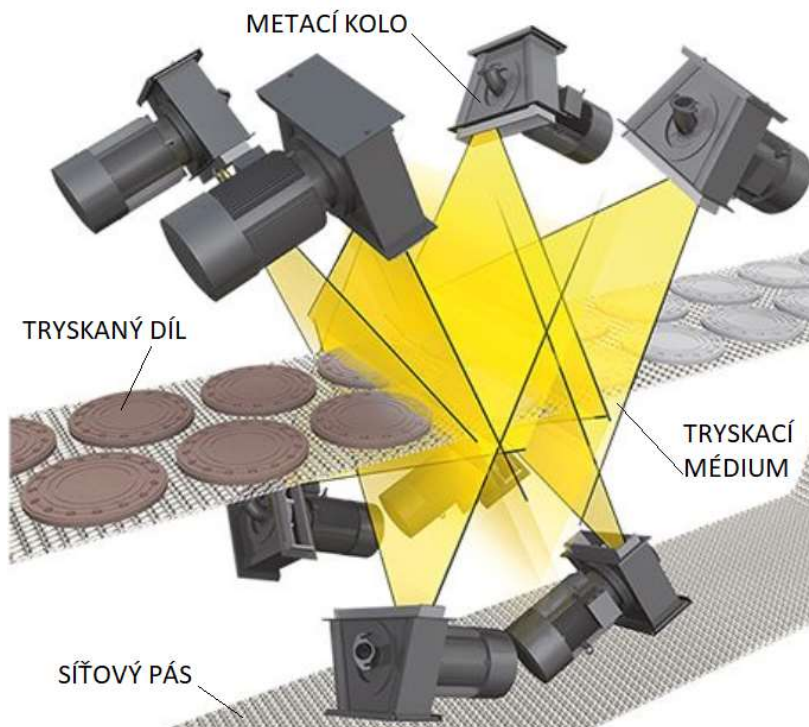
Tryskání je technologický postup, který se využívá pro opracování povrchů různých materiálů proudem abrazivních částic. Jako abrazivum se používají tyto materiály: ocelové broky, ocelový granulát, křemičitý písek, balotina nebo piliny z tvrdého dřeva. Tryskání se používá převážně ve strojírenství, kde slouží k čištění dílu před povrchovou úpravou. Využití tryskání je ovšem možné i v jiných oblastech průmyslu. Časté využití je například ve stavebnictví pro úpravu zdiva, případně betonu. [3]

Pro tryskání se využívají dvě hlavní technologie: tryskání metacím kolem a tlakovzdušné tryskání. [4]

#### 2.1.1 Tryskání metacím kolem

Tryskání pomocí metacího kola spočívá v udělení kinetické energie abrazivu pomocí metacího kola (turbíny), které je poháněno elektromotorem. Tento způsob tryskání je využíván tam, kde je nutné odstranit z povrchu dílů rez, okuje, otrěpy, případně zbytky písku z odlitků. [4], [5]

Průběžné tryskací stroje vybavené dopravníkem z drátěného síťového pásu, jsou vhodné pro tryskání plochých i tvarových dílů. Pro dosažení optimálního otryskání dílu ze všech jeho stran se využívá 4 – 8 metacích kol. Metací kola jsou nakloněna proti pásu tak, aby bylo dosaženo optimálního otryskání dílu. [6]

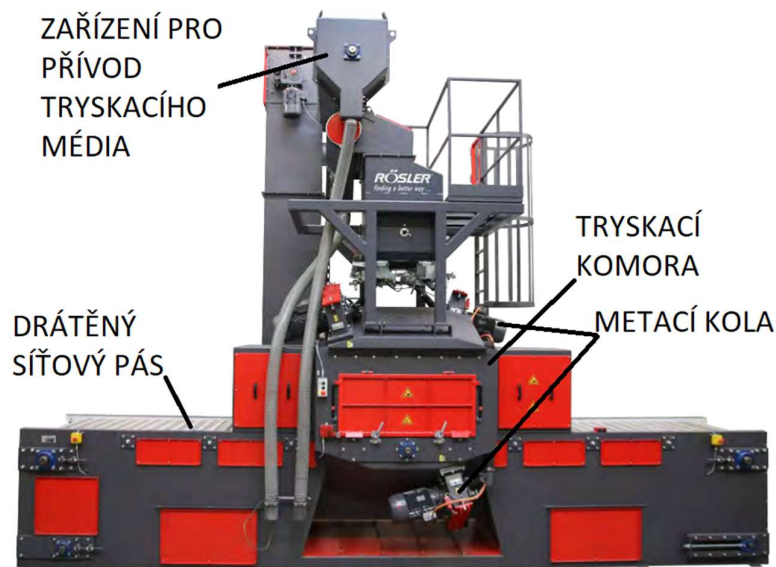


Obr. 1) Schéma technologie tryskání metacím kolem [6]

Díly určené k tryskání jsou naskládány na drátěný síťový pás, který je dopravuje do tryskací komory. V tryskací komoře dojde k jejich postupnému otryskání prostřednictvím

metacích kol. Podle požadavku na opracování se volí rychlost posuvu dopravníku, výkon a počet použitých metacích kol. [6]

Dopravníkový drátěný síťový pás se vyrábí z oceli odolné proti opotřebení. V případě agresivních aplikací se tyto pásy vyrábějí z manganové oceli, která zaručí zvýšenou odolnost proti opotřebení. Standardní rychlost dopravníku se pohybuje od 0,6 do 6 m/min. [7]



Obr. 2) Průběžný tryskací stroj firmy Rösler Oberflächentechnik GmbH [7]

### 2.1.2 Tlakovzdušné tryskání

Tlakovzdušné tryskání využívá k urychlení abrazivních částic stlačený vzduch, který prostřednictvím trysky vystřeluje abrazivum na povrch tryskaného dílu. Někdy se místo čistého abraziva používá směs abrazivních částí s vodou. Poté hovoříme o tzv. mokřím tryskání. Trysky mohou být upevněny fixně, ovládány ručně nebo pomocí robotu. [4]

V případě ručního tryskání je nutné využívat ochranné pomůcky. [3]



Obr. 3) Ruční tryskání [3]

## 2.2 Roboty

Průmyslové roboty můžeme dělit podle druhu kinematiky na:

- Roboty se sériovou kinematikou
- Roboty s paralelní kinematikou

### 2.2.1 Roboty se sériovou kinematikou

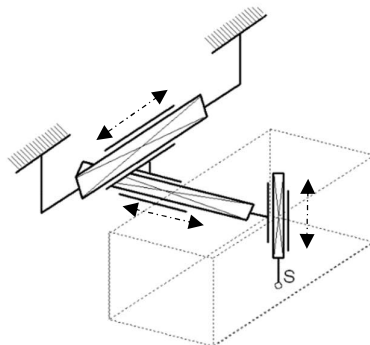
Roboty se sériovou kinematikou jsou mechanismy, které se skládají z určitého počtu binárních členů. Tyto členy jsou řazeny za sebou pomocí kinematických dvojic. Každé kinematické dvojici odpovídá jeden stupeň volnosti. Počet použitých kinematických dvojic udává celkový počet stupňů volnosti mechanismu robotu. [1]

Rozlišujeme dva základní druhy kinematických dvojic [1]:

- Rotační kinematická dvojice (R)
- Translační kinematická dvojice (T)

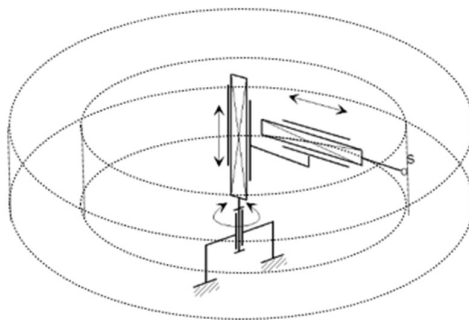
Počet a druh použitých kinematických dvojic určuje manipulační schopnosti robotu. Pro polohování v prostoru je nutné, aby základní kinematický řetězec (polohovací ústrojí) obsahoval tři kinematické dvojice. Druh jednotlivých kinematických dvojic určuje výsledný tvar obsluhovaného prostoru. Existují celkem čtyři základní uspořádání kinematických dvojic [1]:

- TTT – Spojení tří translačních kinematických dvojic. Výsledný obsluhovaný prostor má tvar kvádru.



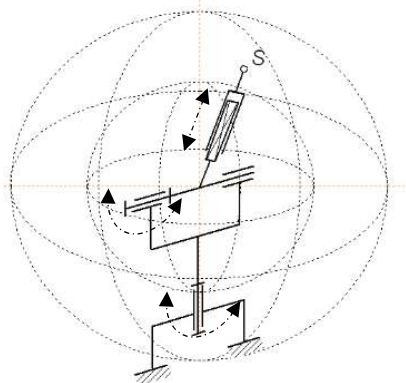
Obr. 4) Struktura TTT s pracovním prostorem kvádru [8]

- RTT – Spojení jedné rotační a dvou translačních kinematických dvojic. Výsledný obsluhovaný prostor má tvar válcového (cylindrického) segmentu.



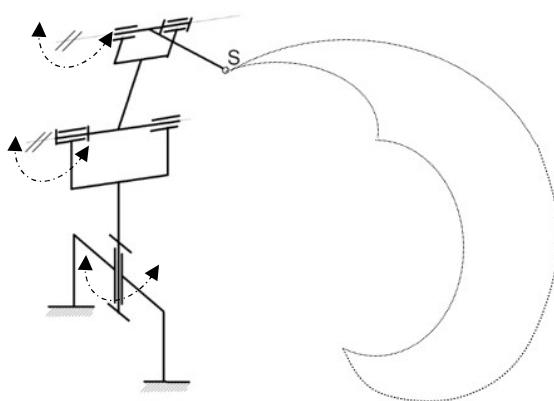
Obr. 5) Struktura RTT s pracovním prostorem válce [8]

- RRT – Spojení dvou rotačních a jedné translační kinematické dvojice. Výsledný obsluhovaný prostor má tvar kulového (sférického) segmentu.



Obr. 6) Struktura RRT s pracovním prostorem kulového segmentu [8]

- RRR – Spojení třech rotačních kinematických dvojic. Výsledný obsluhovaný prostor má tvar torusového (angulárního, složeného, antropomorfního) segmentu.



Obr. 7) Struktura RRR s řezem pracovního prostoru [8]

Využití třech kinematických dvojic základního kinematického řetězce (polohovacího ústrojí) zajistí, že těleso dosáhne určité polohy v prostoru. Aby bylo dosaženo i přesné orientace tělesa v prostoru, je nutné, aby byl základní kinematický řetězec (polohovací ústrojí) doplněn orientačním ústrojím, které zajistí jednoznačnou orientaci tělesa v prostoru. Orientační ústrojí se nejčastěji skládá z rotačních kinematických dvojic a může mít libovolný počet stupňů volnosti. Počet stupňů volnosti orientačního ústrojí se sčítá s počtem stupňů volnosti polohovacího ústrojí a celkový výsledek určuje celkový počet stupňů volnosti robotu. [1]

Velmi často používaným typem průmyslového robotu je typ s uspořádáním polohovacího ústrojí se třemi kinematickými dvojicemi RRR a orientačním ústrojím se třemi stupni volnosti. [8]

Příklad průmyslového robotu se sériovou kinematickou strukturou a šesti stupni volnosti pohybu je zobrazen na následujícím obrázku Obr. 8.



Obr. 8) Průmyslový robot KUKA KR 120 R1800 nano [9]

## 2.2.2 Roboty s paralelní kinematikou

Nejčastější podoba průmyslového robotu s paralelní kinematikou je tzv. DELTA robot.

### DELTA robot

Roboty DELTA se typicky skládají ze třech výkonných servomotorů, které jsou umístěny na pevné konstrukci. Ke každému z těchto motorů se na jeho hřídel montuje rameno v kolmém směru na osu hřídele. Rameno může být připojeno k hřídeli motoru napřímo nebo prostřednictvím převodovky. Na tyto ramena jsou poté napojeny lehká táhla, která jsou na druhém konci spojena s přírubou. Táhla jsou na obou stranách uložena ve sférických vazbách. Na spodní stranu příruby je možné uchytit koncový efektor. Výhodou této konstrukce je, že motory jsou umístěny na pevné konstrukci a tím umožňují, aby pohybující se části robotu byly co nejlehčí. Roboty DELTA jsou určeny pro manipulaci s předměty o nižší hmotnosti. Manipulace s vyšší hmotností vyžaduje použití elektromotorů s vysokým výstupním točivým momentem. Roboty DELTA umožňují vykonávat manipulační (pick and place) aplikace s vysokou rychlostí. Jejich využití je časté v potravinářském průmyslu. [10]



Obr. 9) DELTA robot ABB IRB 360 FlexPicker® [11]

## 2.3 Způsob programování

Programování průmyslových robotů se dělí na dva základní typy: online a off-line. [1]

### 2.3.1 Online programování průmyslových robotů

Online programování probíhá přímo na pracovišti, kde je instalován průmyslový robot. [1]

Programuje se zprostředkovaně pomocí tzv. ručního panelu (teach-pendant), případně bezprostředním učením které spočívá ve vedení robotu po dráze. [12]

Metoda zprostředkovaného programování pomocí ručního panelu je nejpoužívanější. Pomocí ručního panelu je robot naváděn do požadovaných lokací. Lokace jsou ukládány do paměti a následně se robot v průběhu vykonávání programu mezi těmito lokacemi pohybuje. [13]

Bezprostřední učení je programovací metoda, která spočívá ve fyzickém vedení robotu za koncový efektor po požadované dráze. Použití metody není příliš vhodné pro velké roboty. U velkých robotů se zvyšuje náročnost manipulace s robotem a zároveň roste riziko vzniku nepřesností u programované dráhy. Další nevýhodou tohoto způsobu programování je nemožnost editace již naprogramované dráhy. Při potřebě úpravy programu, je nutné celou dráhu vytvořit znovu. Metoda je vhodná pro svařovací aplikace. Není vhodná pro manipulaci se součástmi a pro bodové svařování. [12], [13]

#### Ruční panel (Teach-pendant)

Teach pendant je zařízení, které je ovládané ručně a umožňuje ovládání a řízení robotu. Bývá připojeno pomocí kabelu, ale existují i bezdrátové varianty. [14]

Starší typy ručních panelů měly velkou konstrukci a byly vybaveny ukládáním dat na magnetickou pásku. Dnešní podoba moderních ručních panelů připomíná spíše tablety s dotykovou obrazovkou. [13]



Obr. 10) Teach-pendant KUKA smartPAD-2 [15]

### 2.3.2 Off-line (OLP) programování průmyslových robotů

Metoda Off-line programování využívá softwarové prostředky, které umožňují vytvořit 3D modely robotizovaných technologických pracovišť. Tyto softwary umožňují vytvářet trajektorie drah robotů, simulovat pracovní čas, vizualizovat pracovní prostory robotů, ověřovat fyzické dosahy robotů a na základě simulace optimalizovat chod robotizovaného technologického pracoviště. Využitím softwarové simulace můžeme dosáhnout zvýšení produktivity práce, snížení nákladů a snížení celkového času při navrhování robotizovaného technologického pracoviště. [1]

## **Proces Off-line programování**

Základem pro Off-line programování je vytvoření modelu robotizovaného technologického pracoviště daného technologického procesu. Je tedy nutné vytvořit 3D modely jednotlivých součástí, strojů a periferního zařízení, a dále je nutné definovat informace o technologickém procesu, pro který daný model vytváříme. Modely musí co nejvíce odpovídat reálným prvkům výrobního systému. Přesnost modelů je klíčová pro věrohodnou simulaci a správnost vygenerovaných programů pro roboty.

Následuje vytvoření layoutu pracoviště, které spočívá v rozmístění jednotlivých prvků v prostoru v závislosti na daném technologickém procesu. Dále se definuje konkrétní typ robotů.

Po vytvoření layoutu pracoviště můžeme přejít k definici činností jednotlivých robotů, strojů a dalších komponent. Definujeme jednotlivé trajektorie pro pohyb robotu, dále samotný technologický proces a funkčnost jednotlivých komponent (koncové efektory, stroje, apod.). Vytvoření trajektorií pro roboty nespočívá pouze v definování nejrychlejší nebo nejkratší trasy. Je nutné velmi pečlivě zohlednit prostorové omezení, typ pohybu, rychlost, dosah robotu a vyloučit případné kolize. Díky využití simulačního softwaru můžeme definované trajektorie a funkčnost jednotlivých prvků otestovat v simulaci.

Po simulaci následuje vygenerování programů pro roboty. Pro vygenerování programů je nutné použít specifický postprocesor, který je vhodný pro konkrétní typ použitého robotu.

Poslední krok spočívá v nahrání programů do robotů. Bohužel není vždy možné vygenerované programy přímo nahrávat do robotů, ale je nutné je ručně modifikovat. Modifikace se musí provádět proto, aby se odstranily možné neshody mezi simulačním programem a reálným pracovištěm. Původ těchto neshod může být zapříčiněn například vlivem montážních a výrobních nepřesností. [1], [16]

Pro Off-line programování existuje několik počítačových programů. Následuje popis dvou známých programů od společností Siemens a ABB.

### **Tecnomatix Process Simulate**

Software Tecnomatix Process Simulate od společnosti Siemens poskytuje nástroje pro navrhování a testování výrobních procesů. Díky využití skutečných 3D modelů je možné provést kompletní validaci, simulaci a optimalizaci výrobního systému ve virtuální prostředí. Software díky simulaci umožňuje vytvářet bezkolizní robotické trajektorie, dále je schopen optimalizovat způsob pohybu a zjišťovat výrobní časy. Díky vestavěným nástrojům je možné vytvářet nejrůznější robotické aplikace jako jsou: svařování, lakování a manipulace. [17]

### **ABB RobotStudio**

ABB RobotStudio umožňuje Off-line programování a simulace reálných robotických systémů. Software umožňuje provádět školení, programování nebo optimalizaci výrobního procesu, aniž by muselo dojít k zastavení výroby. RobotStudio je založeno na virtuálním řídicím systému od ABB. Díky tomu umožňuje vytvářet reálné simulace robotických programů. [18]

## 2.4 Koncové efektory

Koncové efektory jsou pracovní zařízení, které jsou umístěny na konci kinematického řetězce (orientačního a polohovacího ústrojí) robotu. Koncové efekторы slouží k provádění různých druhů činností. Využívají se pro manipulační operace, technologické operace, případně pro kontrolní operace. [19]

Koncové efekторы je možné dělit do následujících skupin [19]:

- Technologické
- Manipulační
- Kombinované
- Speciální

### 2.4.1 Manipulační koncové efekторы

Manipulační koncové efekторы slouží pro uchopování objektů při jejich manipulaci. Podle charakteru styku s uchopovanými objekty se dělí na [19]:

- Mechanické
- Magnetické
- Podtlakové
- Speciální

Jednotlivé typy koncových efektorů můžeme dále dělit na aktivní a pasivní. [19]

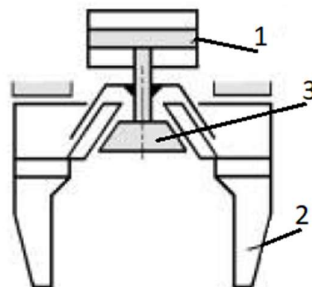
#### Aktivní mechanické koncové efekторы

Aktivní mechanické koncové efekторы jsou charakteristické pohyblivými čelistmi, které jsou ovládány pomocí mechanismu a pohonu. Počet čelistí může být různý, ale nejčastěji se využívají dvě čelisti, které se pohybují proti uchopovanému objektu. Čelisti se mohou pohybovat dvěma základními způsoby: přímočarým pohybem a rotačním pohybem. Pohony mechanismu mohou být také přímočaré nebo rotační. Díky tomu je možné vytvořit několik různých kombinací konstrukce pohybového mechanismu v závislosti na typu použitého pohonu a způsobu pohybu čelistí. Pohony s přímočarým pohybem jsou nejčastěji pneumatické nebo hydraulické. Pohony s rotačním pohybem jsou nejčastěji realizovány pomocí elektromotoru. Pohon prostřednictvím určitého typu mechanismu pohybuje čelistmi koncového efektoru. [19], [20]

Na následujících obrázcích je několik příkladů aktivních mechanických koncových efektorů.

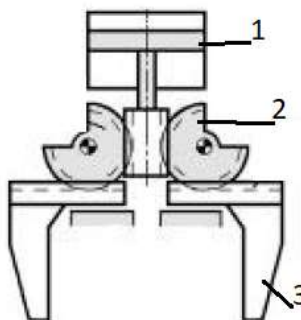
Na Obr. 11 je mechanický koncový efektor s pneumatickým pohonem a klínovým mechanismem pro zajištění paralelního pohybu čelistí. Popis obrázku: 1 – pneumatický válec, 2 – čelisti, 3 – klínový mechanismus





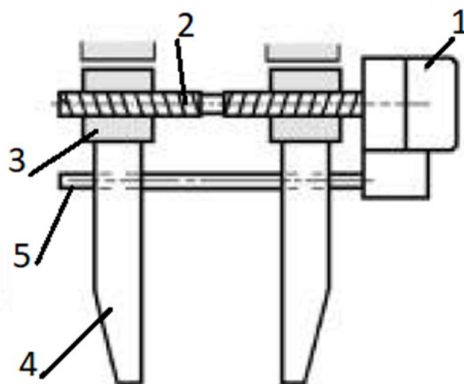
Obr. 11) Schéma efektoru s pneumatickým pohonem a klínovým mechanismem [20]

Na Obr. 12 je mechanický koncový efektor s pneumatickým pohonem a realizací paralelního pohybu čelistí pomocí převodu s ozubenými koly. Popis obrázku: 1 – pneumatický válec, 2 – převod, 3 – čelisti



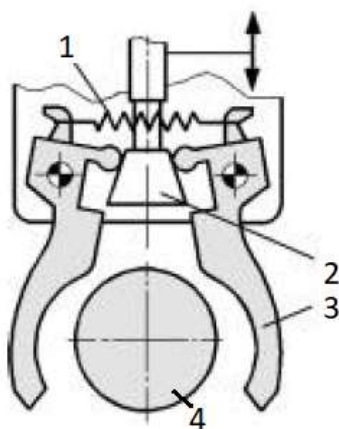
Obr. 12) Schéma efektoru s pneumatickým pohonem a ozubeným převodem [20]

Na Obr. 13 je mechanický koncový efektor s rotačním elektromotorem a paralelním pohybem čelistí, který je realizován pomocí mechanismu šroub – matice. Popis obrázku: 1 – rotační elektromotor, 2 – pohybový šroub, 3 – matice, 4 – čelisti, 5 – vodící tyč



Obr. 13) Schéma efektoru s elektromotorem a převodem šroub – matice [20]

Na Obr. 14 je mechanický koncový efektor s pneumatickým přímočarým pohonem a rotačním pohybem čelistí s klínovým mechanismem. Popis obrázku: 1 – vratná pružina, 2 – klínový mechanismus, 3 – čelisti, 4 – uchopovaný objekt



Obr. 14) Schéma efektoru s pneumatickým pohonem a rotačním pohybem čelistí [20]

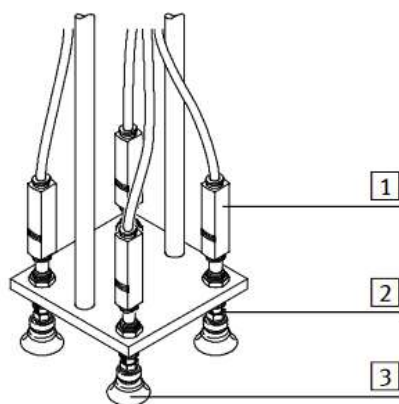
### **Aktivní podtlakové koncové efekторы**

Aktivní podtlakové koncové efekторы využívají pro uchopování objektů podtlak, který se vytváří pomocí ejektorů nebo vývěvy. Použití ejektorů je v porovnání s vývěvou výhodnější z důvodu nižší ceny. Nevýhodou ejektorů je vysoká spotřeba vzduchu. [19]

Uchopovacím prvkem podtlakových koncových efektorů jsou přísavky. Každá přísavka může být připojena na vlastní ejektor, případně lze na jeden ejektor připojit větší počet přísavek.

Nejjednodušší provedení ejektorů představují standardní řadové ejektory. Tyto ejektory se vyznačují kompaktní konstrukcí s malými rozměry. Díky malým rozměrům je možné tyto ejektory využít přímo v místě potřeby, například u jednotlivých přísavek. [31]

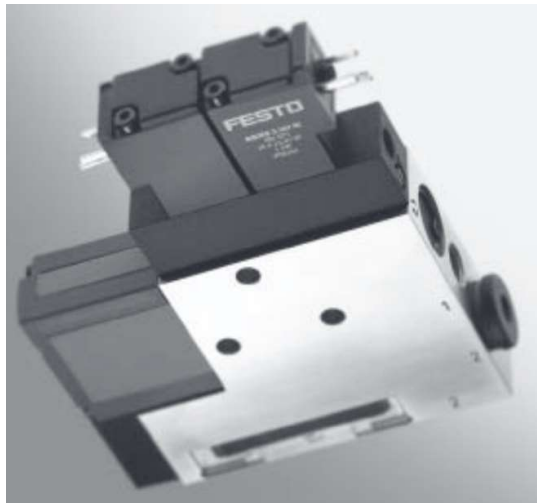
Popis obrázku: 1 – standardní řadový ejektor, 2 – držák přísavky, 3 – přísavka.



Obr. 15) Standardní řadové ejektory s přísavkami [31]

Kompaktní ejektory obsahují různé prvky, které rozšiřují funkční vlastnosti ejektorů. Mezi tyto prvky se řadí elektromagnetické ventily, vakuový spínač, tlumič vzduchu, filtr a další. Kompaktní ejektory mají několik funkcí. Při dosažení požadované hodnoty vakua umožňují

odpojit přívod vzduchu a tím snížit spotřebu. V případě potřeby uvolnit uchopovaný předmět, disponují tzv. vyfukovacím impulsem. Podoba kompaktního ejektoru od firmy FESTO je na obrázku Obr. 16.



Obr. 16) Kompaktní ejektor FESTO [34]

## 2.4.2 Automatická výměna koncových efektorů

Automatická výměna koncových efektorů představuje způsob, jakým lze dosáhnout adaptivity u průmyslových robotů. Adaptivita pomocí automatické výměny koncových efektorů umožňuje, aby jeden průmyslový robot byl schopen vykonávat více technologických operací. Tím je dosaženo zvýšení produktivity a pružnosti výrobního systému.

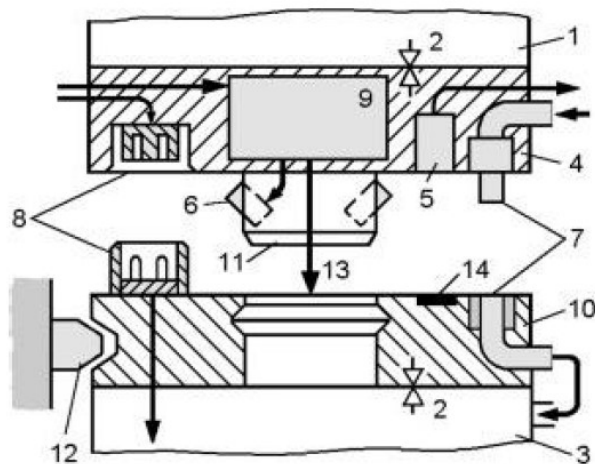
Systém automatické výměny koncových efektorů musí zajišťovat současné spojení mechanických částí (schopné přenášet síly a momenty), energetických částí (elektrická energie, tlakový vzduch), informačních toků (signály) a v případě technologických koncových efektorů musí také zajišťovat přenos materiálu potřebného pro danou technologickou operaci (laky, plyny, barviva). [20]

Mechanického spojení bývá dosaženo použitím tvarových elementů s vysokou spolehlivostí uchycení, jako jsou kuličky, bajonet, hák, apod. Je nutné, aby systém automatické výměny koncových efektorů splňoval určité požadavky, například [20]:

- Vysoká osová přesnost
- Nízké opotřebení
- Vysoká spolehlivost
- Malé upínací a odpínací síly
- Zajištění upnutí i při výpadku energii
- Krátký čas výměny
- Odolnost proti průsakům médií
- Malé rozměry a hmotnost

Schématická podoba systému automatické výměny koncového efektoru je na Obr. 17. Popis obrázku: 1 – příruba robotu, 2 – dělicí rovina, 3 – koncový efektor, 4 – adaptér automatické výměny koncového efektoru (část na robotu), 5 – senzor přiblížení, 6 – zajišťující elementy, 7 – energetické a materiální spojení, 8 – informační spojení (signály), 9 – zajišťovací mechanismus, 10 – adaptér automatické výměny koncového efektoru (část na koncovém

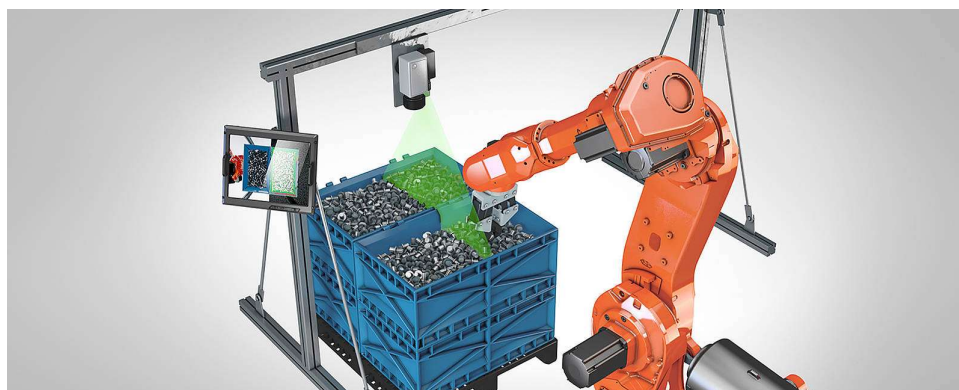
efektoru), 11 – vystředovací element, 12 – element pro uchycení koncového efektoru do zásobníku, 13 – vysunovací pohyb, 14 – kódový prvek



Obr. 17) Schématické znázornění automatické výměny koncového efektoru [20]

## 2.5 Technologie Bin-Picking

Bin-Picking je technologie, která se využívá pro automatizaci detekce volně sypaných dílů v kontejneru, bedně, případně v jiném místě a následně zajišťuje manipulaci těchto dílů. Detekce je prováděna prostřednictvím strojového vidění. Rozvoj technologie Bin-Pickingu byl možný s rozvojem výpočetní techniky a oblasti strojového vidění. V úloze Bin-Pickingu je nutné řešit úlohu, při které je nutné vybrat „nepřesně“ uložený díl a následně tento díl „přesně“ umístit na požadované místo. Tato úloha má tři základní činnosti: detekci dílů, vyjmutí dílu a založení (umístění) dílu. Detekce dílů se uskutečňuje pomocí optického senzoru (kamery), která se nachází přímo na konstrukci robotu, případně na pevné konstrukci nad snímaným prostorem. Kamery vytváří 3D mapu snímaného prostoru. Software na základě této 3D mapy detekuje polohy jednotlivých dílů a vypočítá potřebné trajektorie pro řízení pohybu robotu. Důležitou součástí pro správné vyjmutí a založení dílu je samotný koncový efektor robotu. Ten musí být navržen tak, aby byl schopen spolehlivě uchopit díl a následně ho uložit na žádané místo. [21]



Obr. 18) Vizualizace technologie Bin-Picking [22]

Kamerové systémy poskytuje celá řada firem. Firmy se specializují na různé robotické aplikace, jako je obsluha strojů, paletizace a Bin-Picking neboli vybírání dílů z kontejneru.

Firmy jsou schopny na základě požadavků zákazníka připravit hotové řešení přesně podle jeho potřeb. Nabízené kamerové systémy jsou kompatibilní s celou řadou značek průmyslových robotů na trhu.

Mezi firmy které se zabývají kamerovými systémy patří například:

- SICK [23]
- Photoneo [24]
- Solomon [25]
- Pick-it [26]



## 3 SPECIFIKACE ZADÁNÍ A ZPŮSOB ŘEŠENÍ

### 3.1 Specifikace zadání

Zadání je zaměřeno na návrh robotizované buňky pro obsluhu průběžného tryskacího stroje Rösler RDGE 1000-8 TF pro čištění odlitků ze slitiny hliníku. Základem robotizované buňky jsou dva roboty značky KUKA a Bin-Picking technologie.

Robotizovaná buňka se dělí na dvě základní části. První část se nachází v oblasti vstupu do průběžného tryskacího stroje. Tato část se skládá z jednoho manipulačního robotu KUKA, monitorovacího zařízení Bin-Picking, bedny pro odlitky a odkládací palety pro překlady. Monitorovací zařízení Bin-Picking je umístěno na portálu nad bednou s odlitky. V první fázi dojde ke skenování bedny s odlitky pro získání manipulačních trajektorií. Na základě vypočítaných trajektorií robot odebere odlitek z bedny a umístí ho na dopravníkový pás na vstupu do tryskacího stroje. Poté se robot přemístí do výchozí polohy a celý cyklus se opakuje. Po odebrání posledního kusu z příslušné vrstvy dojde k manipulaci překlady na odkládací paletu. Poloha bedny pro odlitky a palety pro překlady je přesně definována a jejich přítomnost je monitorována.

Druhá část robotizované buňky se skládá z jednoho robotu KUKA, odkládací palety pro překlady a bedny pro odkládání opracovaných odlitků. Robot postupně skládá odlitky po vrstvách do bedny a vždy po dokončení vrstvy umístí překlad. Výpočet trajektorie druhého robotu obstarává 3D kamera.

Oba roboty jsou vybaveny stejnými koncovými efekty. Konkrétní typ koncového efektoru závisí na aktuálnímu typu zpracovávaného odlitku. Oba roboty musí být vybaveny automatickou výměnou koncových efektorů tak, aby bylo možné rychle reagovat například na potřebu umístit nebo odebrat překlad z bedny. Koncové efekty musí být založeny na mechanicko-pneumatickém principu.

Požadavek na maximální délku pracovního cyklu je stanoven na dobu 17 sekund. Pracovní cyklus se skládá ze skenování vstupní bedny pomocí monitorovacího zařízení Bin-Picking a robotické manipulace jednoho odlitku z bedny na dopravníkový pás tryskacího stroje.

Současný stav se stává ze dvou pracovníků. Jeden pracovník je u nakládací části stroje a druhý pracovník je u vykládací části stroje. Manipulace s odlitky probíhá čistě ručním způsobem. Jedná se o třísměnný provoz.

### 3.1.1 Zpracovávané odlitky a jejich parametry

Robotizovaná buňka musí být schopna zpracovat následující dva typy odlitků. Odlitky jsou ze slitiny hliníku. Liší se svým tvarem, rozměry a hmotností.

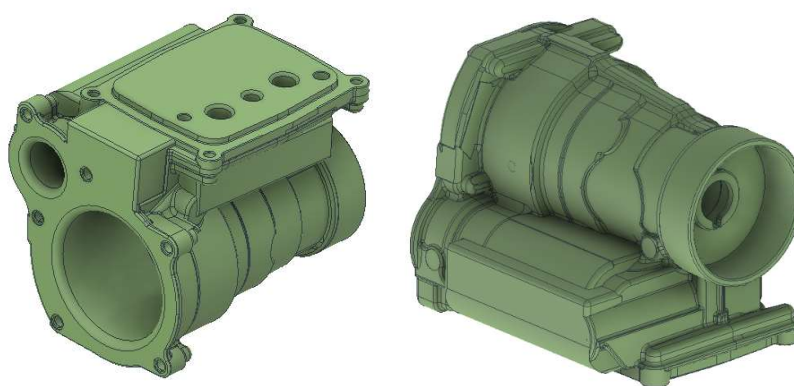
Na následujících obrázcích Obr. 19 a Obr. 20 jsou znázorněny podoby odlitků.



Obr. 19) Odlitek č.1

Tab 1) Parametry odlitku č.1

Parametry – odlitek č.1	
Vnější průměr	151,9 mm
Průměr vnitřních děr větších	46 mm
Průměr vnitřních děr menších	14 mm
Výška	66,3 mm
Hmotnost	1,55 Kg



Obr. 20) Odlitek č.2

Tab 2) Parametry odlitku č.2

Parametry – odlitek č.2	
Základní rozměry V x Š x H	186,5 x 150,2 x 158,8 mm
Hmotnost	3,86 Kg



### 3.2 Zvolený způsob řešení

Na začátku návrhu robotizované buňky bude na základě údajů výrobce vytvořen 3D model průběžného tryskacího stroje, který bude vyjadřovat jeho tvar a hlavní rozměry. Model bude sloužit jako výchozí bod, od kterého se odvodí další kroky pro návrh robotizované buňky. Součástí modelu tryskacího stroje budou i případná prostorová omezení, která se musí zohledňovat tak, aby byla zajištěna bezproblémová funkčnost tryskacího stroje.

Pokračovat se bude návrhem několika variant řešení a na základě zvolených kritérií se vybere nejvhodnější varianta.

Po výběru nejvhodnější varianty bude proveden konstrukční návrh koncových efektorů a dalších potřebných funkčních prvků robotizované buňky. Na základě hmotnosti manipulovaných odlitků, hmotnosti konstrukce koncových efektorů a prostorového uspořádání robotizované buňky budou zvoleny konkrétní typy robotů.

Na základě prostorového uspořádání prvků v robotizované buňce bude navrženo ochranné oplocení včetně vstupních prostorů a bezpečnostních a ovládacích prvků.

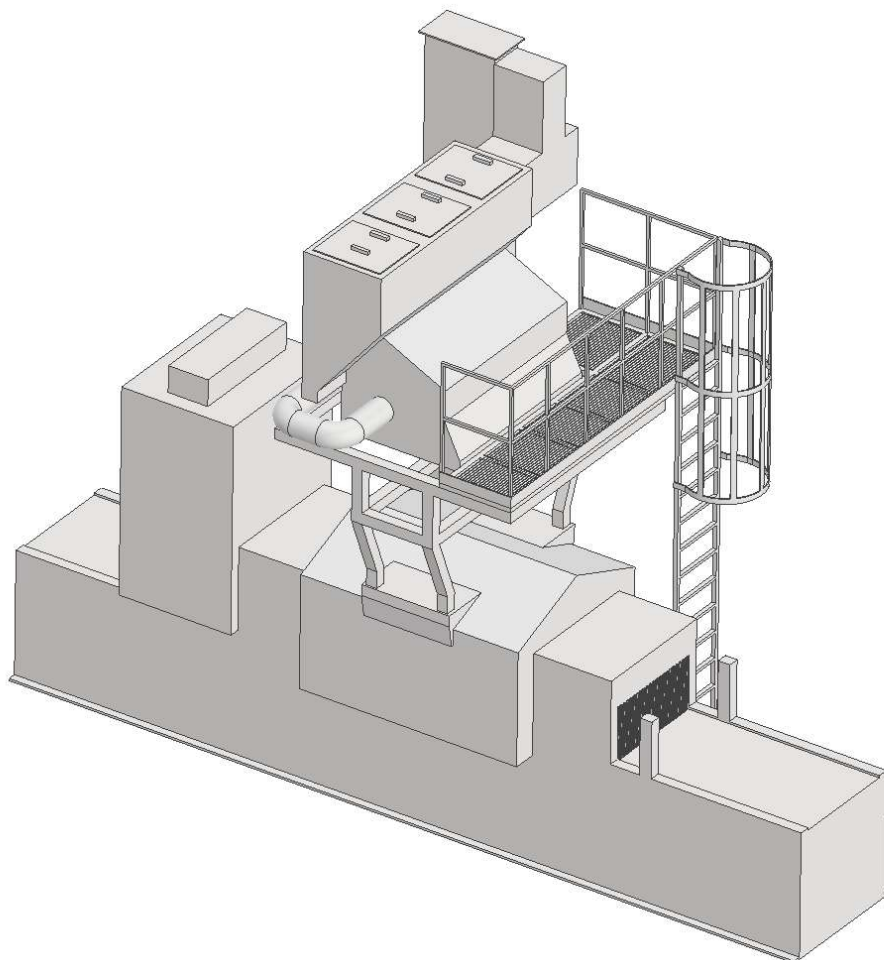
Ověření funkčnosti bude provedeno ve virtuálním prostředí softwaru Tecnomatix Process Simulate.

### 3.3 3D model průběžného tryskacího stroje

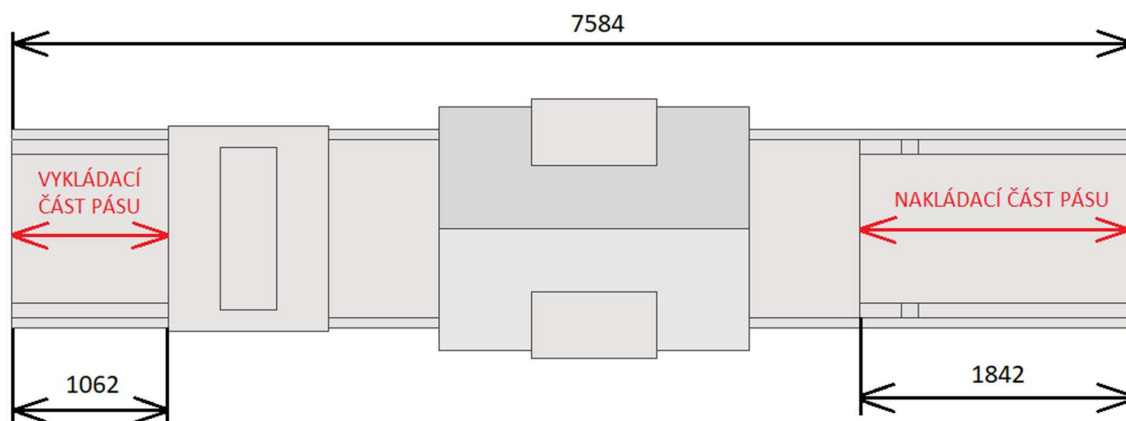
Zadání specifikuje konkrétní typ průběžného tryskacího stroje Rösler RDGE 1000-8 TF. Na základě informací od společnosti Rösler Oberflächentechnik GmbH je vytvořena přibližná podoba stroje ve formě 3D modelu. Tento 3D model bude dále využit při návrhu robotizované buňky.

### 3.3.1 Vizualizace 3D modelu

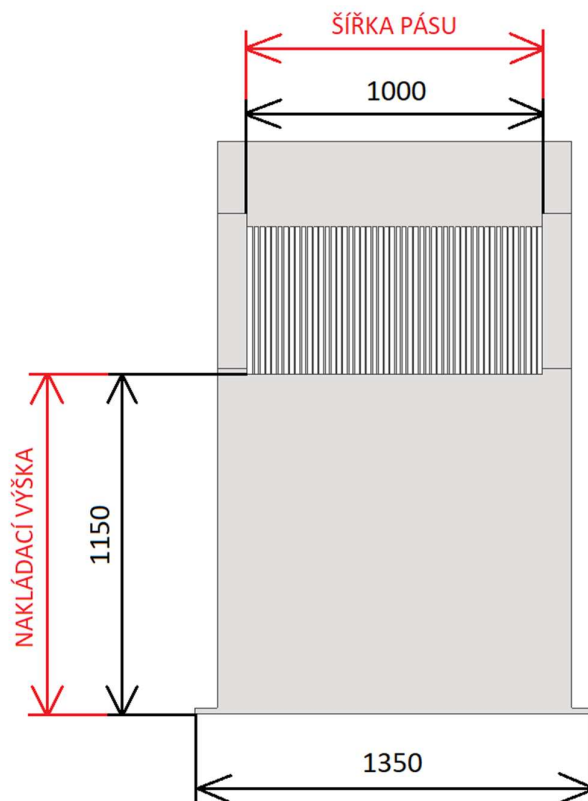
Na následujícím obrázku Obr. 21 je zobrazena podoba 3D modelu. Na obrázcích Obr. 22 a Obr. 23 jsou uvedeny základní rozměrové údaje. Uvedené rozměry jsou v milimetrech.



Obr. 21) Přibližný 3D model průběžného tryskacího stroje Rösler RDGE 1000-8 TF



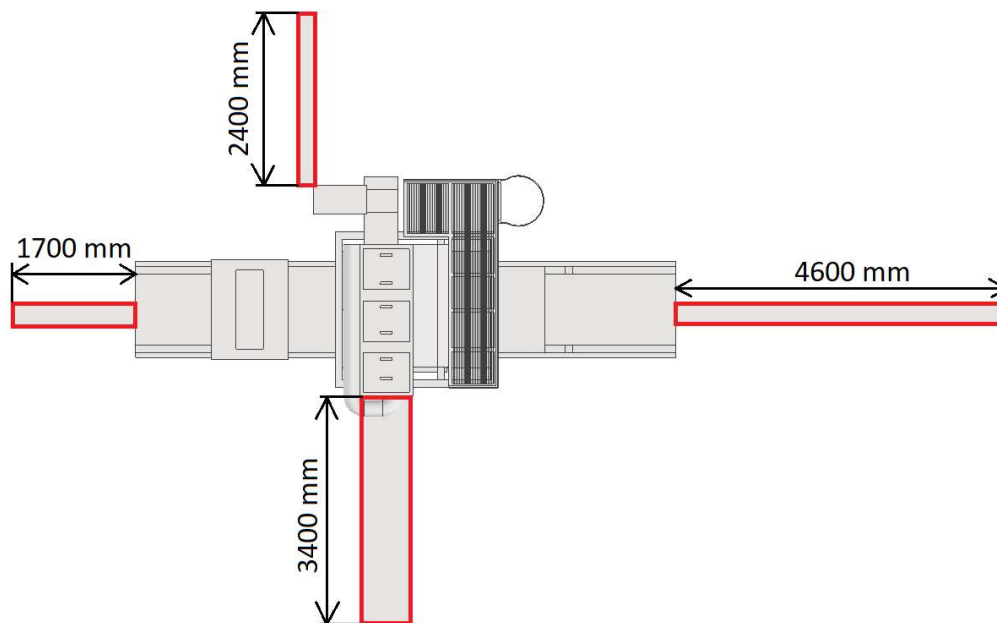
Obr. 22) Pohled shora



Obr. 23) Pohled zepředu

### 3.3.2 Konkrétní prostorová omezení

Následující obrázek Obr. 24. znázorňuje čtyři oblasti, které musí být podle údajů výrobce volné pro účely údržby šnekových dopravníků ve stroji.



Obr. 24) Prostory pro údržbu stroje

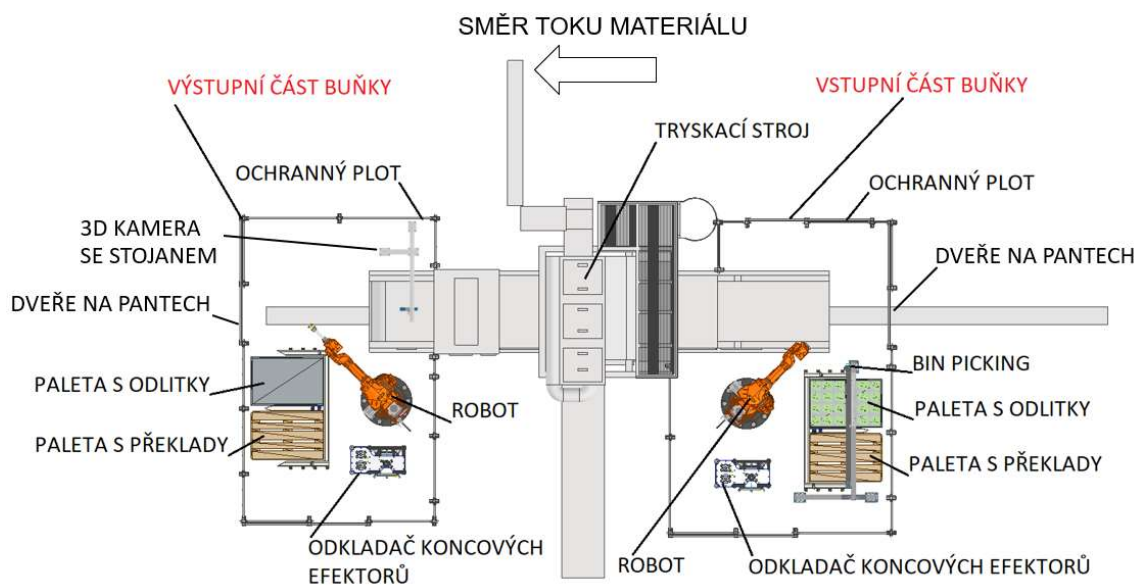
Při návrhu rozložení jednotlivých prvků robotizované buňky se musí brát ohled na tyto oblasti. Jednotlivé prvky robotizované buňky, které nelze jednoduchým způsobem rychle přemístit, nesmí do těchto oblastí zasahovat.

## 4 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A JEJICH ZHODNOCENÍ

Na základě zadání je vytvořeno několik variant řešení. Vzhledem k typu a velikosti tryskacího stroje je nutné robotizovanou buňku rozdělit na vstupní a výstupní část. Varianty jsou poté na základě několika kritérií vyhodnoceny a následně je vybrána nejvhodnější varianta řešení.

### 4.1 Varianta č.1

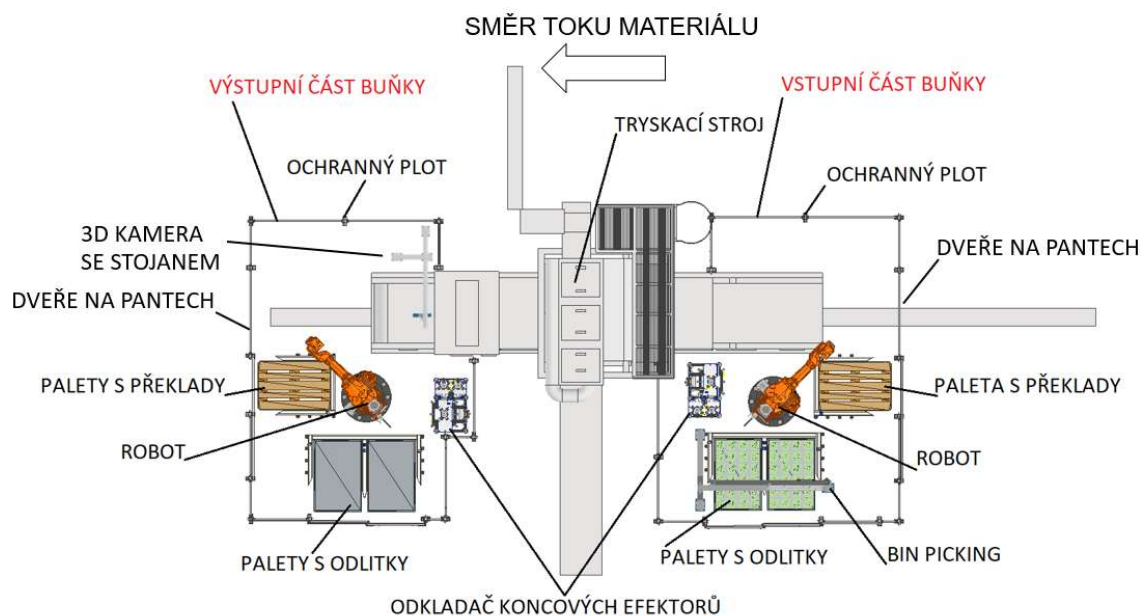
Varianta č.1 je rozdělena na vstupní a výstupní část robotizované buňky. Výhodou této varianty jsou poměrně krátké trajektorie robotů. Varianta zohledňuje prostorová omezení stroje. Je zde použitý nejmenší počet konstrukčních prvků, proto je zde předpoklad nejnižších pořizovacích nákladů. Nevýhodou této varianty je poměrně malá bezobslužnost.



Obr. 25) Varianta č.1

### 4.2 Varianta č.2

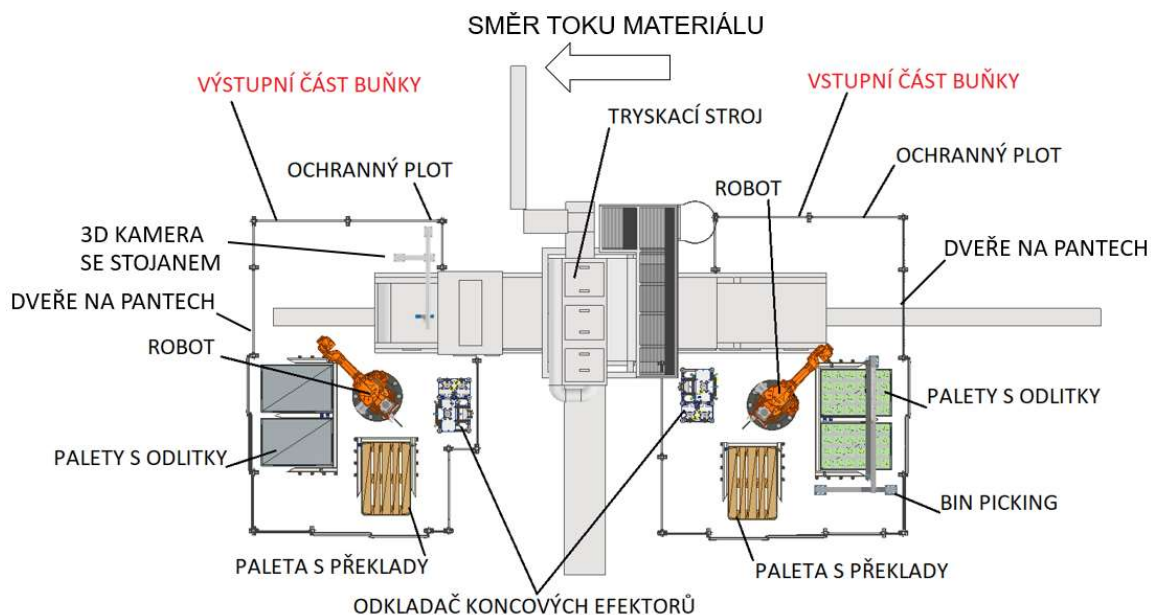
Varianta č.2 je také rozdělena na vstupní a výstupní část. Rozdílem oproti variantě č.1 je větší počet současně přítomných beden s odlitky. Tímto způsobem lze prodloužit dobu, po kterou bude robotizovaná buňka bez nutnosti obsluhy. Naskenováním dvou beden najednou se také zrychlí pracovní cyklus buňky. Nevýhodou tohoto uspořádání jsou poměrně dlouhé trajektorie robotů při manipulaci s odlitky.



Obr. 26) Varianta č.2

### 4.3 Varianta č.3

Varianta č.3 vychází z varianty č.2. Odlišuje se vhodnějším uspořádáním prvků v robotizované buňce. To vede k vytvoření kratších trajektorií robotů pro manipulaci s odlitky. Zkrátí se tím doba manipulace.



Obr. 27) Varianta č.3

U všech variant je prostor pro údržbu stroje v oblasti vstupní části buňky omezen ochranným oplocením. Část oplocení která zasahuje do tohoto prostoru je vybavena dveřmi tak, aby se v případě potřeby tento prostor snadno uvolnil.

#### 4.4 Vícekriteriální analýza pro výběr varianty

Výběr nejlepší varianty je proveden pomocí bodovací metody s váhami. Pro realizaci metody je nutné definovat hodnotící kritéria a jejich váhy. [27]

V Tab. 3. jsou definovány hodnotící kritéria.

Tab 3) Definice hodnotících kritérií

Název kritéria
Malý zástavbový prostor
Nízké náklady (předpoklad)
Krátký pracovní cyklus
Bezobslužný provoz
Zohlednění prostorových omezení v okolí stroje

Pro určení vah jednotlivých kritérií lze využít několik metod. Váha kritéria představuje jeho důležitost. Čím vyšší je váha, tím důležitější je dané kritérium. Pro určení vah jednotlivých kritérií je využita metoda pořadí. Metoda spočívá v seřazení kritérií dle důležitosti (od nejvýznamnějšího po nejméně významné). Následně se jednotlivým kritériím stanoví jejich bodová hodnota podle vzorce: [28]

$$b_i = k + 1 - p_i \quad (1)$$

Kde:  $b_i$  – bodová hodnota kritéria i [-]

$k$  – počet kritérií [-]

$p_i$  – pořadí kritéria dle důležitosti [-]

Normovaná váha kritéria se poté určí ze vztahu: [28]

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i} \quad (2)$$

Kde:  $v_i$  – normovaná váha kritéria i [-]

$b_i$  – bodová hodnota kritéria i [-]

$k$  – počet kritérií [-]

Stanovení pořadí dle důležitosti jednotlivých kritérií je zde vytvořeno podle osobního pohledu autora práce. Pořadí důležitosti jednotlivých kritérií závisí na konkrétní řešené situaci.

Tab 4) Určení vah kritérií

Kritérium	Pořadí dle důležitosti	Bodová hodnota $b_i$	Normovaná váha $v_i$
Malý zástavbový prostor	4-5	1,5	0,1
Nízké náklady (předpoklad)	4-5	1,5	0,1
Krátký pracovní cyklus	3	3	0,2
Bezobslužný provoz	2	4	0,267
Zohlednění prostorových omezení v okolí stroje	1	5	0,333
<b>Celkem</b>		15	1

V Tab. 5. jsou poté podle principu bodovací metody jednotlivým variantám přiděleny body podle toho, jak splňují daná kritéria. Toto hodnocení je provedeno přidělením číselných hodnot od 1 do 5, kdy 1 znamená nejnižší hodnocení a 5 znamená hodnocení nejvyšší.

Tab 5) Hodnocení variant

Kritérium	Váha kritéria	Varianta č.1	Varianta č.2	Varianta č.3
Malý zástavbový prostor	0,1	4	3	3
Nízké náklady (předpoklad)	0,1	5	4	4
Krátký pracovní cyklus	0,2	3	4	5
Bezobslužný provoz	0,267	2	4	4
Zohlednění prostorových omezení v okolí stroje	0,333	5	5	5
<b>Celkem</b>		<b>3,699</b>	<b>4,233</b>	<b>4,433</b>

Z tabulky Tab. 5 vyplývá, že danému zadání nejlépe odpovídá varianta č.3. Varianta č.3 umožňuje delší bezobslužný provoz díky zpracování dvou beden s odlitky současně, dále disponuje krátkým pracovním cyklem a zohledňuje prostorová omezení v okolí tryskacího stroje. Tato varianta bude zpracována.



### 5.1 Návrh konstrukce koncových efektorů pro manipulaci s odlitky

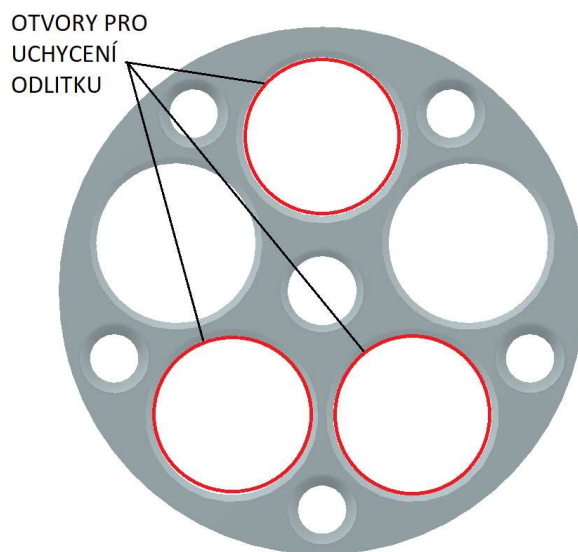
Konstrukce koncových efektorů pro manipulaci s odlitky musí zajistit spolehlivé upnutí odlitků při jejich manipulaci. Oba typy odlitků se tvarově výrazně liší. Z tohoto důvodu je nutné navrhnout dva různé koncové efekторы.

Odlitky svým tvarem umožňují realizovat úchop za vnitřní plochy. Řešení s úchopem za vnitřní plochy je výhodné při vybírání odlitků z bedny, kdy odlitky mohou být uloženy s minimálními mezery mezi jednotlivými kusy.

#### 5.1.1 Koncový efektor pro odlitek č.1

Odlitek č.1 má pravidelný kruhový průřez. Obsahuje několik vnitřních průchozích otvorů. Největší otvory mají průměr 46 mm a mohou být využity pro uchycení koncovým efektem. Pro konstrukci koncového efektoru se nabízí využití paralelního chapadla s pneumatickým pohonem a dvěma čelistmi s přímočarým pohybem.

Konstrukce čelistí chapadla je provedena tak, aby pro uchycení odlitku využívala tři průchozí otvory, které jsou znázorněné na následujícím obrázku Obr. 28.



Obr. 28) Zobrazení ploch pro uchycení odlitku č.1

#### Výpočet uchopovací síly chapadla

Výběr vhodného typu chapadla závisí na jeho rozměrech a maximální dosažitelné uchopovací síle, kterou je schopno vyvinout. Aby bylo zaručeno spolehlivé uchycení odlitku během manipulace, je nutné vypočítat požadovanou uchopovací sílu.

Výpočet uchopovací síly pro vertikální směr pohybu je proveden podle následujícího vzorce [50]:

$$F_u = \frac{m_o \cdot (g + a)}{2 \cdot \mu} \cdot S = \frac{1,55 \cdot (9,81 + 10)}{2 \cdot 0,1} \cdot 2 = 307,06 \text{ N} \quad (3)$$

Kde:  $F_u$  – požadovaná uchopovací síla chapadla [N]

$m_o$  – hmotnost odlitku [Kg]

$g$  – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$a$  – zrychlení robotu [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$\mu$  – koeficient tření mezi čelistí a odlitkem [-]

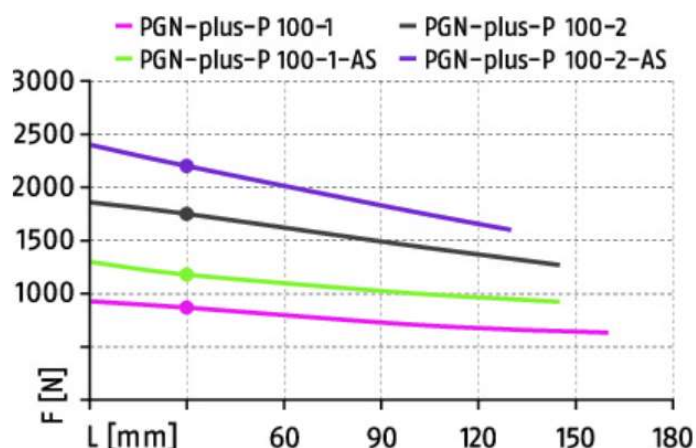
$S$  – koeficient bezpečnosti [-]

Na základě rozměrů odlitku a požadované uchopovací síly je vybráno chapadlo od společnosti SCHUNK s označením PGN-plus-P 100-1. Některé jeho parametry jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 6.

Tab 6) Parametry chapadla SCHUNK PGN-plus-P 100-1 [29]

SCHUNK PGN-plus-P 100-1	
Zdvih na jednu čelist [mm]	10
Zavírací síla [N]	870
Otevírací síla [N]	930
Hmotnost [Kg]	0,9
Maximální moment $M_x$ [Nm]	87
Maximální moment $M_y$ [Nm]	115
Maximální moment $M_z$ [Nm]	80

Výrobce SCHUNK udává následující závislost uchopovací síly na délce čelistí [29]:



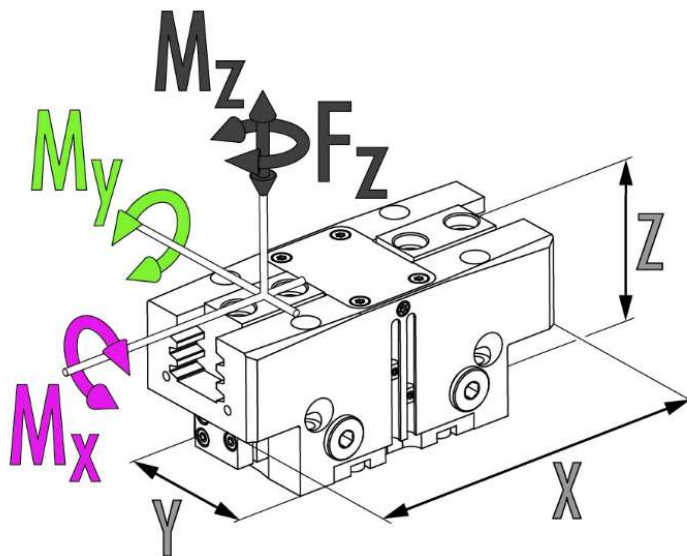
Obr. 29) Závislost uchopovací síly na délce čelistí [29]

Hodnota zavírací síly 870 N, která je uvedena v Tab. 6. odpovídá podle grafu na Obr. 29 délce čelistí 30 mm. V konstrukci koncového efektoru pro odlitek č. 1 jsou použity čelisti s

délkou 30 mm. Z grafu na Obr. 29 plyne, že pro tuto délku čelistí bude mít chapadlo dostatečnou uchopovací sílu.

### **Kontrola momentů působících na chapadlo**

Dále je nutné ověřit momenty působící na chapadlo při manipulaci s odlitkem. Tyto hodnoty je nutné porovnat s maximálními dovolenými hodnotami, které jsou uvedeny v Tab. 6.



Obr. 30) Momenty působící na chapadlo [29]

Při manipulaci působí na čelist chapadla následující momenty:

$$M_x = m_o \cdot (a + g) \cdot r_x = 1,55 \cdot (10 + 9,81) \cdot 0,04935 = 1,52 \text{ Nm} \quad (4)$$

$$M_y = m_o \cdot (a + g) \cdot r_y = 1,55 \cdot (10 + 9,81) \cdot 0,04935 = 1,52 \text{ Nm} \quad (5)$$

Kde:  $M_x$  – moment kolem osy X [Nm]

$M_y$  – moment kolem osy Y [Nm]

$m_o$  – hmotnost odlitku [Kg]

$g$  – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$a$  – zrychlení robotu [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$r_x$  – vzdálenost těžiště odlitku od čela chapadla v ose X [m]

$r_y$  – vzdálenost těžiště odlitku od čela chapadla v ose Y [m]

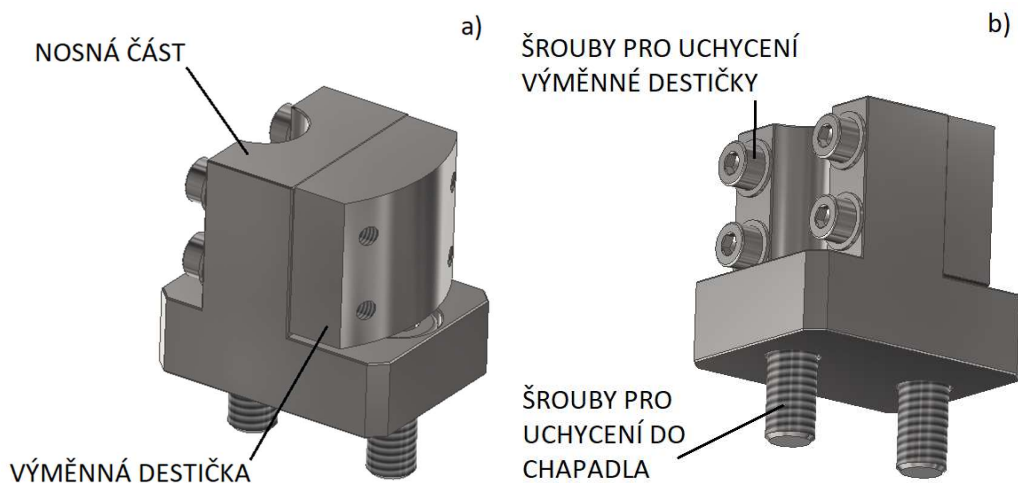
Hodnoty vypočítaných momentů jsou podstatně menší než maximální dovolené hodnoty momentů. Chapadlo vyhovuje.

## **Konstrukce koncového efektoru**

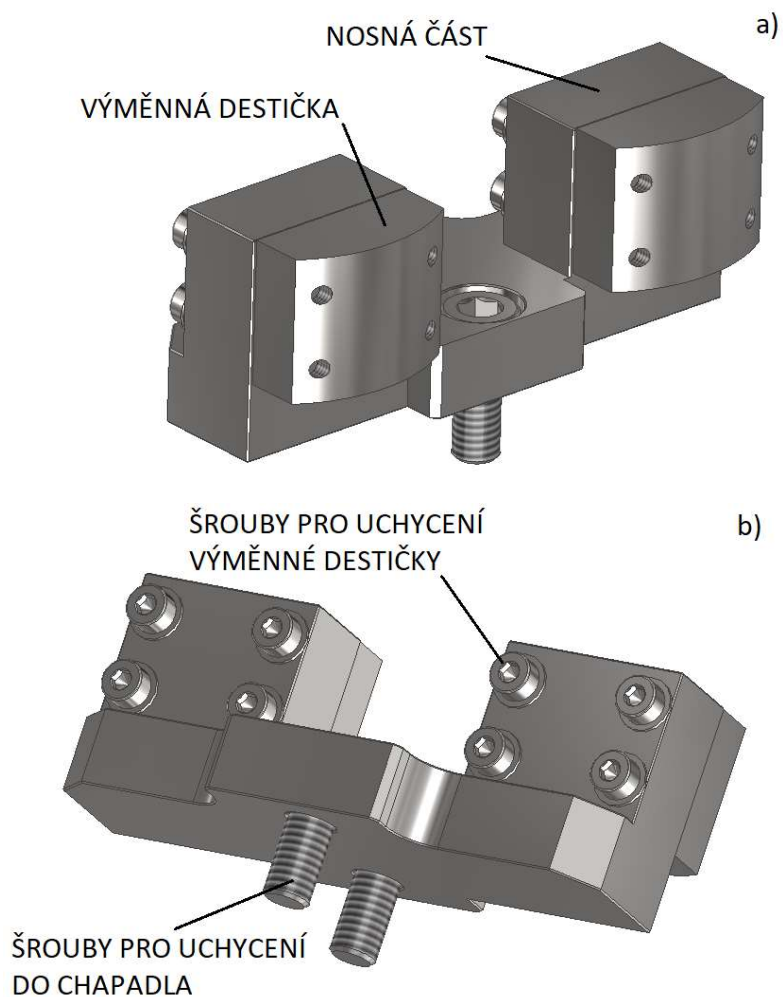
Konstrukce koncového efektoru pro manipulaci s odlitkem č.1 se skládá z čelistí, chapadla, adaptéru pro automatickou výměnu a svařované konstrukce.

Svařovaná konstrukce se skládá ze dvou přírub, osmi žeber, čtyř čepů a trubky. Trubka má průměr 38 mm, tloušťku stěny 6 mm a délku 350 mm. Délka 350 mm je potřebná, aby bylo možné odebírat odlitky i z nejspodnější vrstvy v bedně. Čepy slouží pro fixaci polohy koncového efektoru na odkladači koncových efektorů. Jedna příruba slouží pro montáž chapadla a druhá slouží pro montáž adaptéru automatické výměny koncových efektorů. Pro připojení tlakového vzduchu jsou na chapadle přítomny pneumatická šroubení FESTO s označením QSL-G1/8-6, které mají nástrčnou koncovku pro připojení hadic o vnějším průměru 6 mm. Stejná pneumatická šroubení jsou poté použita na adaptéru automatické výměny. Monitorování stavu chapadla (otevřeno / zavřeno), je zajištěno dvěma magnetickými snímači MMSK 22-S-PNP.

Koncový efektor obsahuje dva druhy čelistí: jednoduchou čelist a dvojitou čelist. Jednoduchá čelist je tvořena nosnou částí a jednou výměnnou destičkou. Dvojitá čelist je tvořena rozšířenou nosnou částí a dvěma výměnnými destičkami. Dvojitá čelist je navržena tak, aby umožňovala dotyk se dvěma kruhovými otvory v odlitku zároveň. Výměnné destičky zajišťují dotyk s odlitkem. Nosné části jsou pomocí šroubů uchyceny k chapadlu. Výměnné destičky jsou pomocí šroubů uchyceny k nosným částem a v případě jejich opotřebení je možná jejich výměna. Nosné části jsou z duralu, výměnné destičky z kalené oceli.

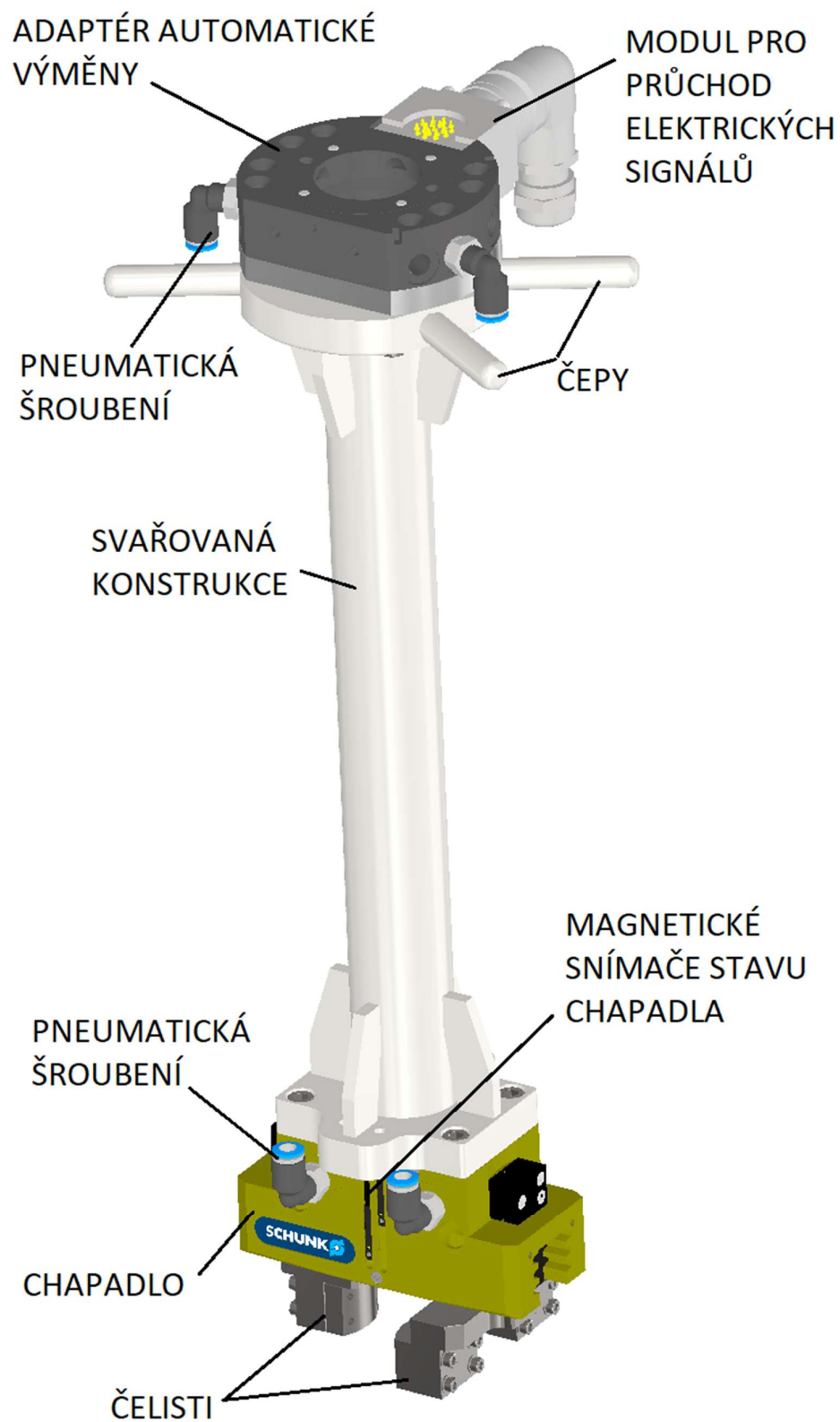


Obr. 31) a) pohled na čelist zepředu, b) pohled na čelist zezadu



Obr. 32) a) pohled na dvojitou čelist zepředu, b) pohled na dvojitou čelist zezadu

Adaptér automatické výměny koncového efektoru je vybrán od společnosti SCHUNK. Jedná se konkrétně o model SWA-021-000-000. Adaptér je vybaven modulem pro průchod elektrických signálů s označením SWO-K19-A a úhlovým konektorem KAS-19B-A-90-C. Na robotu je pro všechny koncové efektoru namontována druhá strana adaptéru s označením SWK-021-000-000. Celková hmotnost koncového efektoru pro odlitek č.1 je 5,07 Kg.

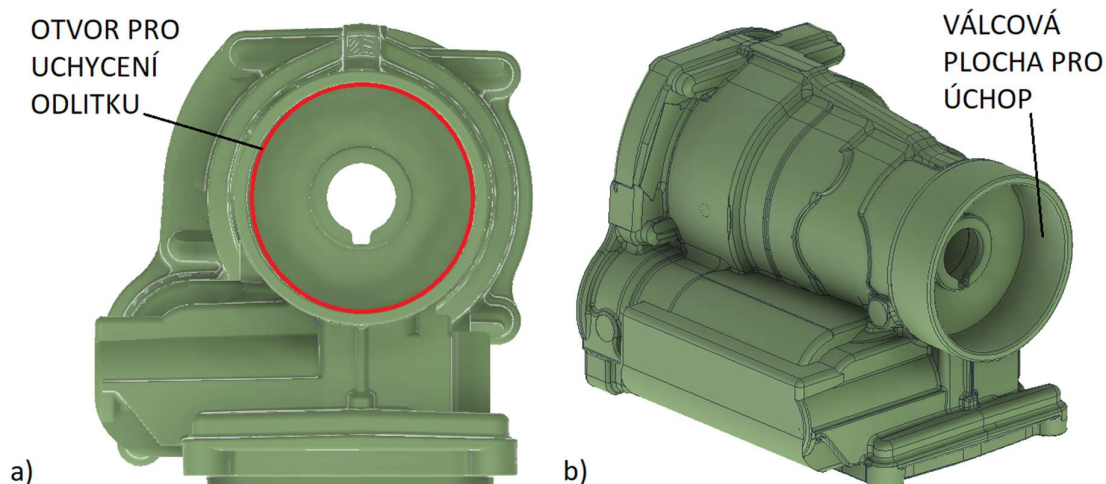


Obr. 33) Koncový efektor pro odlitek č. 1

### 5.1.2 Koncový efektor pro odlitek č.2

Odlitek č.2 nemá pravidelný tvar. Možnosti úchopu jsou tak značně omezeny. Nejvhodnější místo pro realizaci úchopu je válcová plocha v horní části odlitku. Vnitřní plocha této válcové části má průměr 78,5 mm a hloubku 28 mm. Úchop za tuto vnitřní plochu umožní skládat odlitky do bedny s minimálními mezerami.

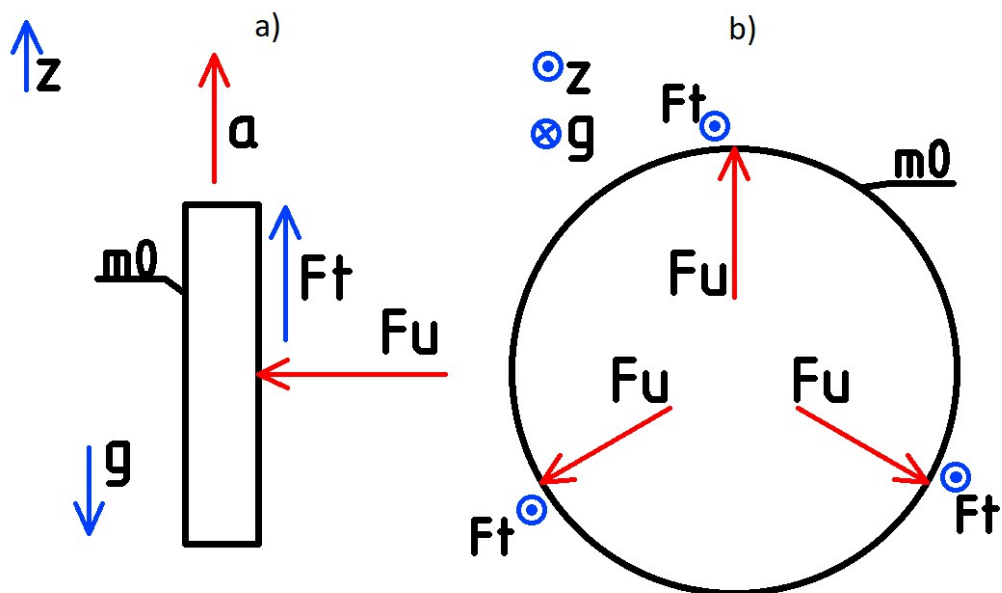
Pro úchop za vnitřní válcovou plochu je vhodné zvolit středící chapadlo s pneumatickým pohonem a se třemi čelistmi. Válcová plocha pro úchop odlitku je zobrazena na následujícím obrázku Obr. 34.



Obr. 34) a) Pohled zepředu na odlitek č. 2 b) ISO pohled na odlitek č. 2

### Výpočet uchopovací síly chapadla

Vztah pro výpočet uchopovací síly je odvozen podle následujícího obrázku Obr. 35.



Obr. 35) Rozbor sil pro úchop středícím chapadlem: a) pohled zepředu, b) pohled shora

$$-m_o \cdot g + 3 \cdot F_t = m_o \cdot a \quad (6)$$

$$F_t = F_u \cdot \mu \quad (7)$$

$$3 \cdot F_u \cdot \mu = m_o \cdot a + m_o \cdot g \quad (8)$$

Odkud výsledný vztah pro výpočet uchopovací síly pro vertikální směr pohybu včetně koeficientu bezpečnosti:

$$F_u = \frac{m_o \cdot (g + a)}{3 \cdot \mu} \cdot S = \frac{3,87 \cdot (9,81 + 10)}{3 \cdot 0,1} \cdot 2 = 511,1 \text{ N} \quad (9)$$

Kde:  $F_u$  – požadovaná uchopovací síla chapadla [N]

$F_t$  – třecí síla [N]

$m_o$  – hmotnost odlitku [Kg]

$g$  – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$a$  – zrychlení robotu [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$\mu$  – koeficient tření mezi čelistí a odlitkem [-]

$S$  – koeficient bezpečnosti [-]

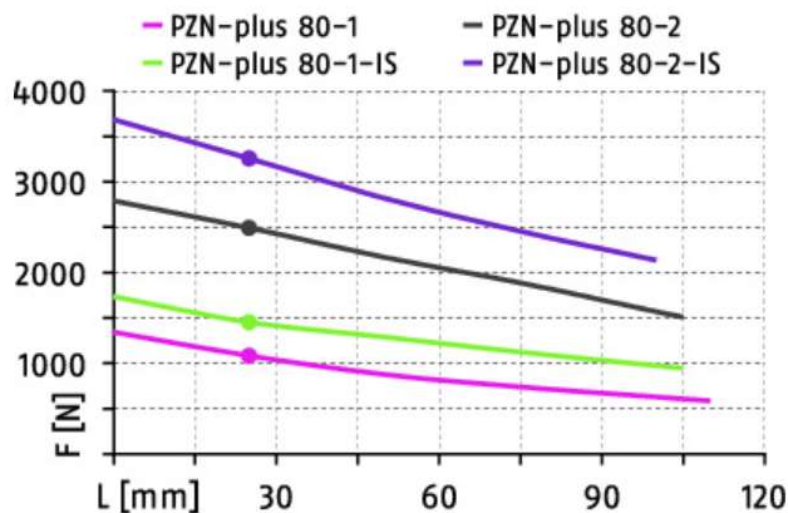
Na základě vypočítané uchopovací síly a rozměrů odlitku je vybráno chapadlo od společnosti SCHUNK s označením PZN-plus 80-1. Některé jeho parametry jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 7.

Tab 7) Parametry chapadla SCHUNK PZN-plus 80-1 [30]

SCHUNK PZN-plus 80-1	
Zdvih na jednu čelist [mm]	8
Zavírací síla [N]	1000
Otevírací síla [N]	1080
Hmotnost [Kg]	0,79
Maximální moment $M_x$ [Nm]	60
Maximální moment $M_y$ [Nm]	95
Maximální moment $M_z$ [Nm]	55



Výrobce SCHUNK udává následující závislost uchopovací síly na délce čelistí [30]:

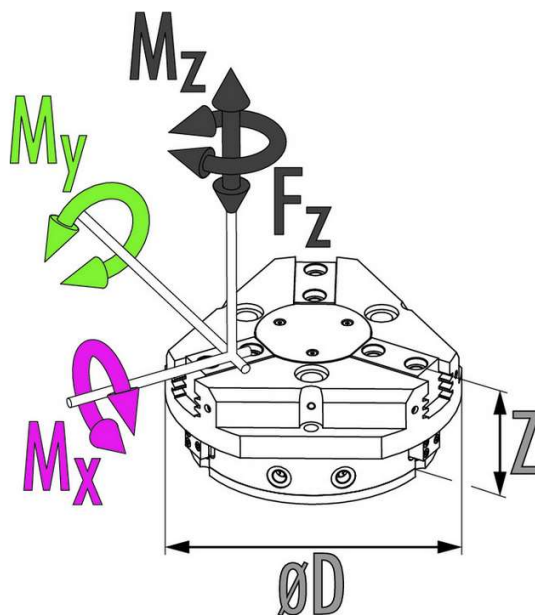


Obr. 36) Závislost uchopovací síly na délce čelistí [30]

V konstrukci koncového efektoru pro odlitek č.2 jsou využity čelisti s délkou 27 mm. Z grafu na obrázku Obr. 36. vyplývá, že velikost otevírací síly pro délku čelistí 27 mm je dostatečně vysoká.

#### Kontrola momentů působících na chapadlo

Následuje kontrola momentů, které působí na chapadlo při manipulaci s odlitkem. Tyto vypočítané hodnoty je nutné porovnat s maximálními dovolenými hodnotami, které jsou uvedeny v Tab. 7.



Obr. 37) Momenty působící na chapadlo [30]

Při manipulaci působí na čelist následující momenty:

$$M_X = m_o \cdot (a + g) \cdot r_x = 3,87 \cdot (10 + 9,81) \cdot 0,120 = 9,2 \text{ Nm} \quad (10)$$

$$M_Y = m_o \cdot (a + g) \cdot r_y = 3,87 \cdot (10 + 9,81) \cdot 0,120 = 9,2 \text{ Nm} \quad (11)$$

$$M_Z = m_o \cdot (a + g) \cdot r_z = 3,87 \cdot (10 + 9,81) \cdot 0,043 = 3,3 \text{ Nm} \quad (12)$$

Kde:  $M_X$  – moment kolem osy X [Nm]

$M_Y$  – moment kolem osy Y [Nm]

$M_Z$  – moment kolem osy Z [Nm]

$m_o$  – hmotnost odlitku [Kg]

$g$  – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$a$  – zrychlení robotu [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$r_x$  – vzdálenost těžiště odlitku od čela chapadla v ose X [m]

$r_y$  – vzdálenost těžiště odlitku od čela chapadla v ose Y [m]

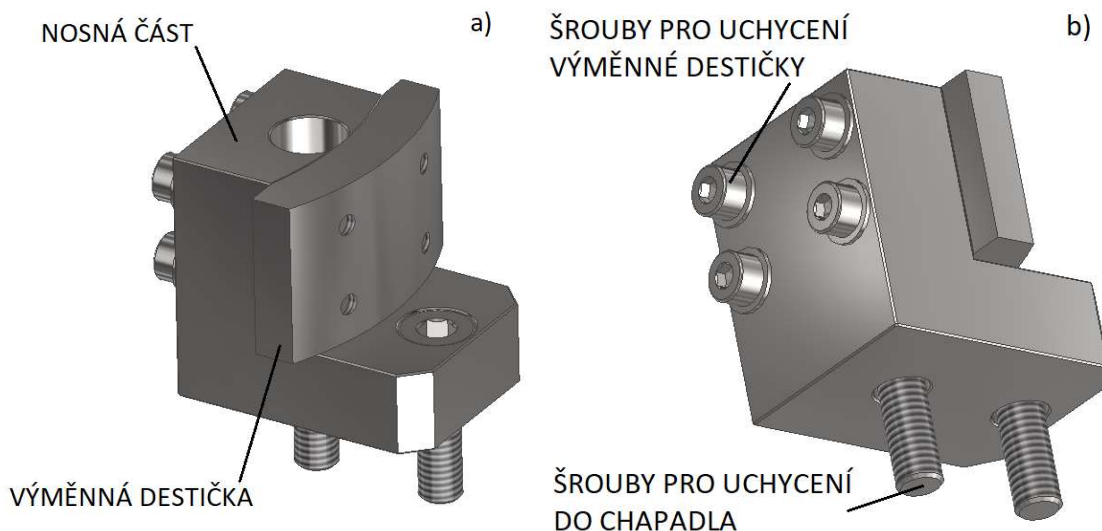
$r_z$  – vzdálenost těžiště odlitku od čela chapadla v ose Z [m]

Hodnoty vypočítaných momentů jsou menší než maximální dovolené hodnoty momentů. Chapadlo vyhovuje.

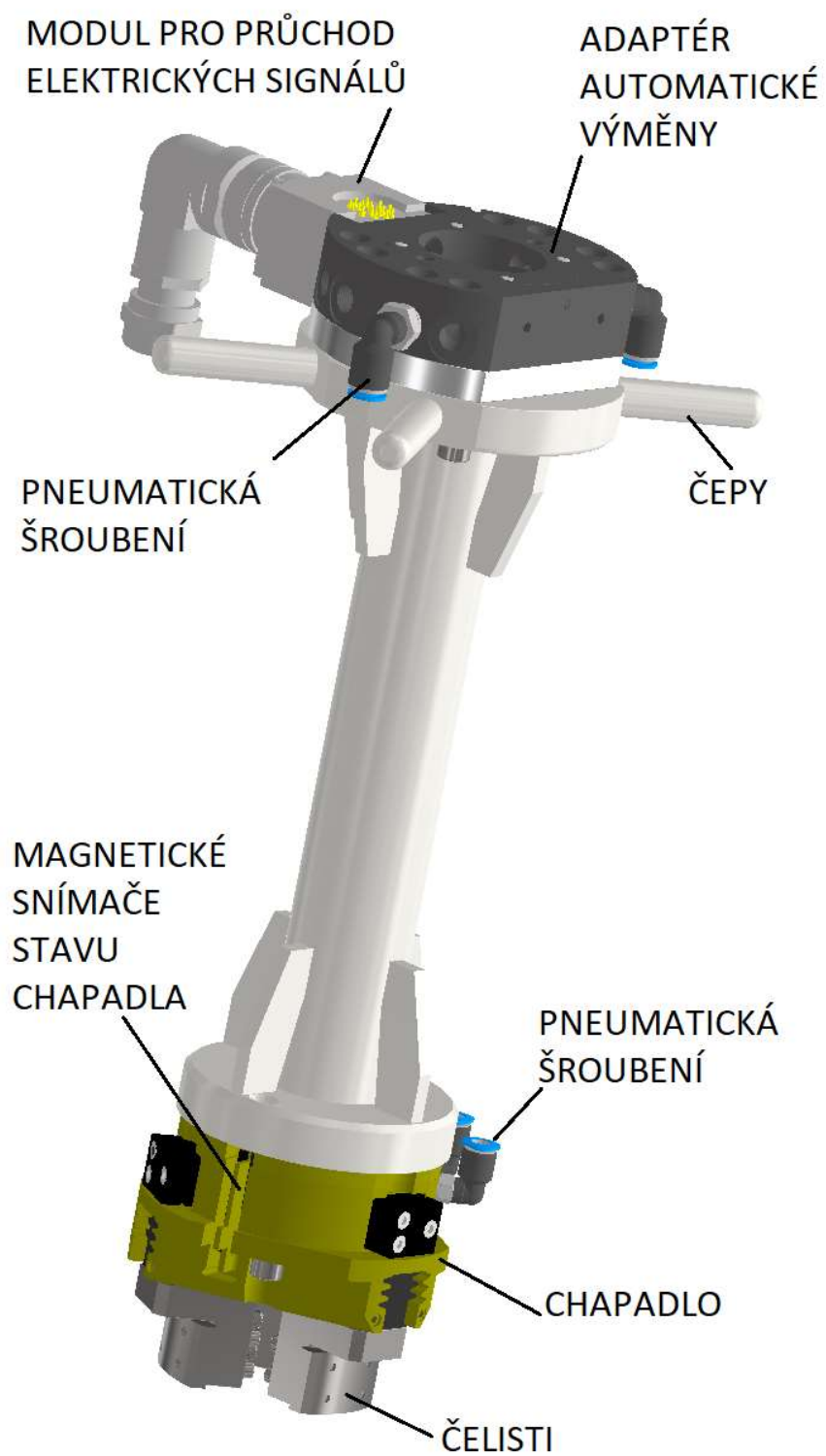
### Konstrukce koncového efektoru

Konstrukce koncového efektoru pro odlitek č.2 je podobná konstrukci koncového efektoru pro odlitek č.1. Je použit stejný typ adaptéru automatické výměny SCHUNK SWA-021-000-000 včetně modulu pro průchod elektrických signálů SWO-K19-A a úhlový konektor KAS-19B-A-90-C. Konstrukce se liší typem použitého chapadla a kratším provedením svařence, který zajišťuje možnost odběru odlitků i z nejspodnější vrstvy v bedně. Trubka má průměr 38 mm, tloušťku stěny 6 mm a délku 240 mm. Pro připojení tlakového vzduchu jsou na chapadle použity pneumatická šroubení FESTO s označením QSML-M5-6, které mají nástrčnou koncovku pro připojení hadic o vnějším průměru 6 mm. Adaptér automatické výměny poté obsahuje šroubení s označením QSL-G1/8-6. Monitorování stavu chapadla (otevřeno / zavřeno), je zajištěno dvěma magnetickými snímači MMSK 22-S-PNP.

Čelisti na chapadle jsou tvořeny z pevných nosných částí a výměnných destiček, které zajišťují dotyk s odlitkem. Nosné části jsou pomocí šroubů uchyceny k chapadlu. Výměnné destičky jsou pomocí šroubů uchyceny k nosným částem a v případě jejich opotřebení je možná jejich výměna. Nosné části jsou z duralu, výměnné destičky z kalené oceli.



Obr. 38) a) pohled na čelist zepředu, b) pohled na čelist zezadu



Obr. 39) Koncový efektor pro odlitek č.2

## 5.2 Návrh konstrukce koncového efektoru pro manipulaci s překlady

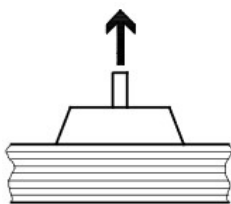
Odlitky jsou naskládány v bedně po vrstvách. Vrstvy jsou proloženy překlady. Aby bylo možné vybrat z bedny všechny odlitky, je nutné odebírat jednotlivé překlady. Vzhledem k plošnému tvaru překladů je vhodné navrhnout koncový efektor s vakuovými přísavkami. Rozměry překladu jsou 1160x760 mm a jeho hmotnost je 2 Kg. Pro výběr potřebných přísavek je nutné stanovit celkovou uchopovací sílu.

Výpočet požadované uchopovací síly je proveden podle: [31].

### Výpočet uchopovací síly

Velikost uchopovací síly je závislá na způsobu pohybu při manipulaci s překladem. V navrhované robotizované buňce je manipulace s překladem prováděna vždy v jeho horizontální poloze.

### Vertikální směr pohybu



Obr. 40) Pohyb překladu ve vertikálním směru [31]

Celková potřebná uchopovací síla pro pohyb ve vertikálním směru [31]:

$$F_V = m \cdot (g + a) \cdot S = 2 \cdot (9,81 + 10) \cdot 2 = 79,24 \text{ N} \quad (13)$$

Kde:  $F_V$  – celková potřebná uchopovací síla – vertikální směr [N]

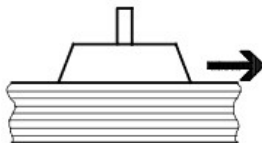
$m$  – hmotnost překladu [Kg]

$g$  – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$a$  – zrychlení robotu [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$S$  – koeficient bezpečnosti [-];

### Horizontální směr pohybu



Obr. 41) Pohyb překladu v horizontálním směru [31]

Celková potřebná uchopovací síla pro pohyb v horizontálním směru [31]:

$$F_H = m \cdot \left( g + \frac{a}{\mu_1} \right) \cdot S = 2 \cdot \left( 9,81 + \frac{10}{0,5} \right) \cdot 2 = 119,24 \text{ N} \quad (14)$$

Kde:  $F_H$  – celková potřebná uchopovací síla – horizontální směr [N]

$m$  – hmotnost překladu [Kg]

$g$  – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$a$  – zrychlení robotu [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$\mu_1$  – koeficient tření [31] mezi přísavkou a překladem [-];

$S$  – koeficient bezpečnosti [-];

Na základě výpočtu je zřejmé, že pro pohyb v horizontální směru je celková požadovaná uchopovací síla větší. Proto je dále počítáno s hodnotou síly 119,24 N, která vyšla z výpočtu pro horizontální směr pohybu.

Pro konstrukci koncového efektoru bylo zvoleno celkem osm přísavek.

Celková uchopovací síla pro horizontální směr pohybu  $F_H = 119,24 \text{ N}$  z rovnice 14 se nyní rozdělí mezi osm přísavek. Potřebná síla vyvinutá jednou přísavkou je:

$$F_{př} = \frac{F_H}{n_{př}} = \frac{119,24}{8} = 14,91 \text{ N} \quad (15)$$

Kde:  $F_{př}$  – celková potřebná uchopovací síla na jednu přísavku [N]

$F_H$  – celková potřebná uchopovací síla – horizontální směr [N]

$n_{př}$  – celkový počet přísavek na koncovém efektoru [-]

Na základě vypočítané hodnoty potřebné uchopovací síly na jednu přísavku je zvolena přísavka od společnosti FESTO. Parametry přísavky jsou v následující tabulce Tab. 8. Aby bylo zajištěno spolehlivé uchopení překladu, je zvolena přísavka s větší uchopovací silou než vyšla z výpočtu.

Tab 8) Parametry přísavky [32]

Parametry přísavky	
Označení přísavky	ESG-30-SU-HC-QS
Tvar přísavky	kruhový
Jmenovitá přídržná síla při provozním tlaku -0,7 bar	40,8 N
Materiál přísavky	Polyuretan
Držák pro přísavky	HC s připojením vakua shora, upevnění kontramaticí, s výškovým vyrovnáním a připojením vakua koncovkou QS - 6

### Volba ejektoru

Součástí návrhu koncového efektoru s vakuovými přísavkami je i volba konkrétního typu ejektoru, který slouží pro vytvoření požadovaného podtlaku. Ejektor musí být schopen za určitou dobu odsát vzduch ze všech pneumatických komponent v konstrukci koncového efektoru tak, aby vytvořil podtlak pro vyvození požadované uchopovací síly.

Volba ejektoru je provedena podle: [31].

Abychom zjistili celkový čas, za který ejektor vytvoří požadovaný podtlak, je nutné stanovit celkový objem všech pneumatických komponent, které jsou použité v konstrukci koncového efektoru.

Následující tabulka Tab. 9 obsahuje souhrn všech použitých pneumatických komponent.

Tab 9) Tabulka použitých pneumatických komponent s parametry

Komponenta	Označení pro výpočet	Označení	Množství	Jednotkový objem [cm <sup>3</sup> ]
Přísavka [32]	$V_{př}$	ESG-30-SU	8 ks	0,867
Držák přísavky [32]	$V_{dr}$	HC-QS	8 ks	1,153
Hadice – 6 mm [33]	$V_{had\_6}$	PUN - 6	3,05 m	38,25
Hadice – 8 mm [33]	$V_{had\_8}$	PUN - 8	0,15 m	3,83
QSQ-8-6	$V_{QSQ\_8\_6}$	QSQ-8-6	2 ks	3,14
QSY-8	$V_{QSY\_8}$	QSY-8	1 ks	2,64

Celkový objem použitých komponent se vypočítá z rovnice:

$$\begin{aligned}
 V_{celkový} &= n \cdot V_{př} + n \cdot V_{dr} + V_{had\_6} + V_{had\_8} + n \cdot V_{QSQ\_8\_6} + n \cdot V_{QSY\_8} \\
 &= 8 \cdot 0,867 + 8 \cdot 1,153 + 38,25 + 3,83 + 2 \cdot 3,14 + \\
 &\quad + 1 \cdot 2,64 = 67,16 \text{ cm}^3
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Kde:  $V_{celkový}$  – celkový objem všech pneumatických komponent [cm<sup>3</sup>]

$V_{př}$  – objem přísavky [cm<sup>3</sup>]

$V_{had\_6}$  – celkový objem hadic PUN - 6 [cm<sup>3</sup>]

$V_{had\_8}$  – celkový objem hadic PUN - 8 [cm<sup>3</sup>]

$V_{QSQ\_8\_6}$  – objem rozbočovače QSQ-8-6 [cm<sup>3</sup>]

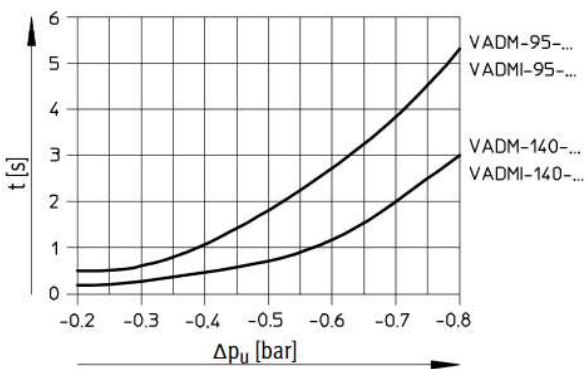
$V_{QSY\_8}$  – objem rozbočovače QSY-8 [cm<sup>3</sup>]

$n$  – počet kusů dané součásti [–]

Na základě technických údajů od výrobce je zvolen ejektor FESTO VADMI-95-LS-P. [34]

Pro tento typ ejektoru je vypočítaná doba, za kterou vytvoří podtlak -0,8 bar ve všech pneumatických komponentách koncového efektoru.

Potřebné údaje pro výpočet jsou získány z následujícího grafu na obrázku Obr. 42.



Obr. 42) Čas potřebný pro odsátí jednoho litru vzduchu v závislosti podtlaku [34]

Celkový čas pro vytvoření požadovaného podtlaku v pneumatických komponentách je určen následující rovnicí:

$$t_{celkový} = \frac{V_{celkový} \cdot t_{e\_VADMI\_95}}{1000} = \frac{67,16 \cdot 5,2}{1000} = 0,349 \text{ s} \quad (17)$$

Kde:  $V_{celkový}$  – celkový objem všech pneumatických komponent [ $cm^3$ ]

$t_{e\_VADMI\_95}$  – čas za který ejektor odsaje 1 litr vzduchu, při podtlaku -0,8 bar [s] – určeno z grafu na obrázku Obr. 42.

$t_{celkový}$  – celkový čas pro vytvoření podtlaku -0,8 bar [s]

Zvolený ejektor vytvoří požadovaný podtlak za 0,349 s. Vypočítaný čas je dostatečně krátký pro realizaci rychlé manipulace s překlady.

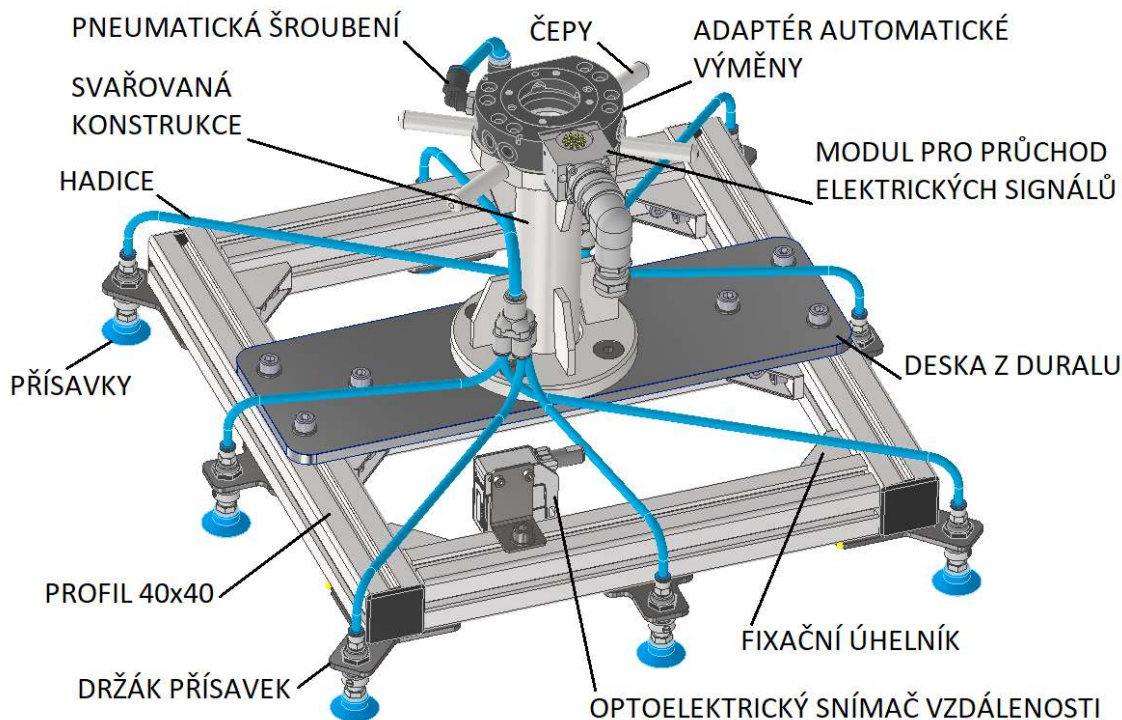
### **Konstrukce koncového efektoru**

Konstrukce koncového efektoru pro překlady je založena na stavebnicovém principu. Hlavní částí konstrukce je rám, který je tvořen hliníkovými profily s rozměry 40x40 mm. Spojení těchto profilů je zajištěno fixačními úhelníky se šrouby a maticemi se závitem M8. Na hlavní rám jsou poté uchyceny držáky přísavek, které jsou rozmístěny v pravidelných vzdálenostech okolo rámu. Na horní straně rámu je poté uchycena deska z duralu o tloušťce 8 mm. K desce je poté uchycena svařovaná konstrukce s adaptérem automatické výměny koncového efektoru. Adaptér automatické výměny je zvolen SCHUNK SWA-021-000-000 s modulem pro průchod elektrických signálů SWO-K19-A a úhlovým konektorem KAS-19B-A-90-C. Svařovaná konstrukce obsahuje čtyři čepy pro fixaci efektoru na odkladači a dvě příruby. Jedna příruba se uchytil k duralové desce. Na druhou přírubu je namontován adaptér automatické výměny. Pneumatické prvky jsou připojeny k adaptéru automatické výměny pomocí šroubení s označením QSL-G1/8-8.

Koncový efektor je také vybaven optoelektrickým snímačem BALLUFF BOD 24K-LPI08-S4 pro měření vzdálenosti. Při přiblížení koncového efektoru k překladům na paletě, je vždy odměřena vzdálenost horního překladu. Tímto způsobem je zajištěn odběr překladů z palety, kde počet překladů není přesně definován. Odpadá tak nutnost pro každé spuštění robotizované buňky, připravovat přesný počet potřebných překladů.

Základní vnější rozměry koncového efektoru pro manipulaci s překlady jsou: (délka x šířka x výška) 470x460x288 mm. Hmotnost koncového efektoru pro manipulaci s překlady je 10,612 Kg.





Obr. 43) Konstrukce koncového efektoru pro překlady

### 5.3 Kontrola adaptéru automatické výměny koncových efektorů

V následující tabulce Tab. 10. jsou uvedeny základní vlastnosti adaptéru automatické výměny koncových efektorů SCHUNK SWA-021-000-000, který je použitý u všech koncových efektorů.

Tab 10) Parametry adaptéru SCHUNK SWA-021-000-000 [35]

SCHUNK SWA-021-000-000	
Maximální užitečné zatížení [Kg]	25
Maximální moment $M_x$ [Nm]	169,5
Maximální moment $M_y$ [Nm]	169,5
Maximální moment $M_z$ [Nm]	230

Výpočet momentů je proveden pro nejhorší případ zatížení. Adaptér je nejvíce zatížen při použití koncového efektoru pro překlady. Hodnoty vypočítaných momentů jsou porovnány s hodnotami uvedenými v Tab. 10. Celková hmotnost koncového efektoru pro překlady včetně překlady je 12,612 Kg. Maximální užitečné zatížení adaptéru automatické výměny je 25 Kg. Adaptér tedy z tohoto hlediska vyhovuje.

Při manipulaci působí na adaptér následující momenty:

$$M_x = m_{KE} \cdot (g + a) \cdot r_p = 12,612 \cdot (9,81 + 10) \cdot 0,204 = 50,96 \text{ Nm} \quad (18)$$

$$M_y = m_{KE} \cdot (g + a) \cdot r_p = 12,612 \cdot (9,81 + 10) \cdot 0,204 = 50,96 \text{ Nm} \quad (19)$$

Kde:  $M_X$  – moment k ose X [Nm]

$M_Y$  – moment k ose Y [Nm]

$m_{KE}$  – hmotnost překladu včetně koncového efektoru [Kg]

$g$  – tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$a$  – zrychlení robotu [ $m \cdot s^{-2}$ ]

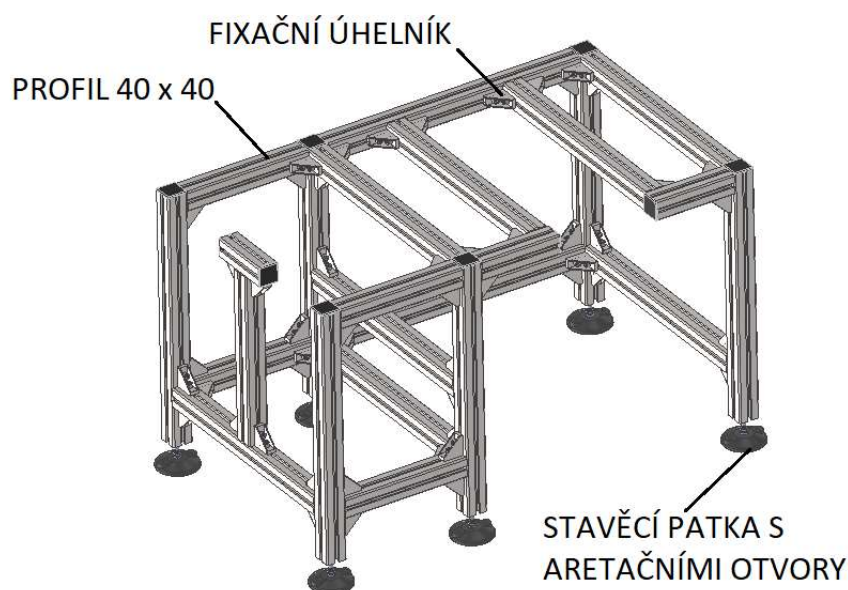
$r_p$  – vzdálenost těžiště koncového efektoru s překladem od čela adaptéru [m]

Vypočítané hodnoty momentů jsou menší než maximální dovolené hodnoty uvedené v Tab. 10. Adaptér vyhovuje.

#### 5.4 Návrh konstrukce odkladače koncových efektorů

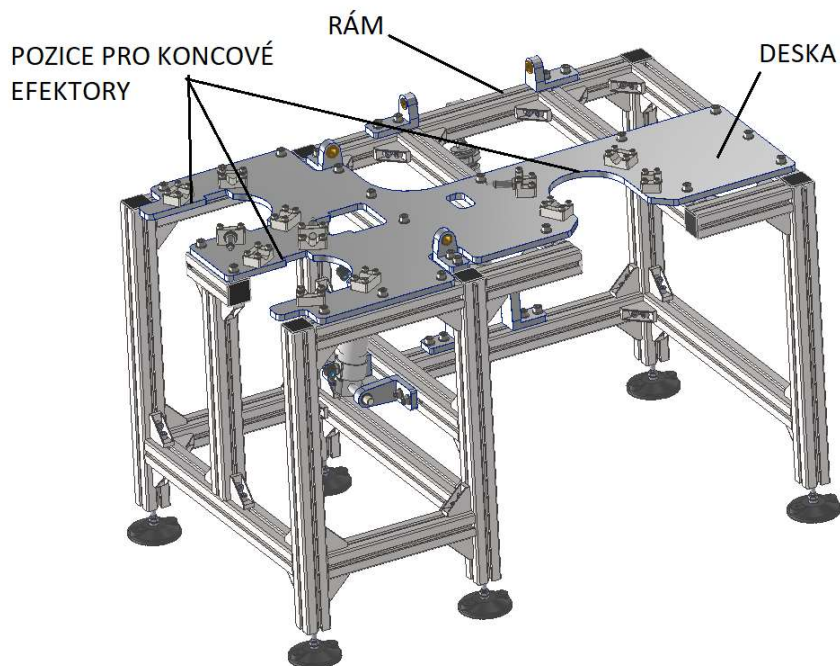
V průběhu provozu robotizované buňky budou roboty pracovat se třemi různými koncovými efekty. Je proto nutné navrhnout odkládací místo, kde bude možné odkládat koncové efekty a realizovat jejich automatickou výměnu.

Základ konstrukce odkladače koncových efektorů je založen na stavebnicových prvcích. Jedná se zejména o hliníkové profily 40x40, fixační úhelníky, stavěcí patky s aretačními otvory a spojovací materiál ve formě matic a šroubů se závitem M8. Pomocí těchto součástí je sestaven základní rám o délce 890 mm, výšce 550 mm a šířce 530 mm.



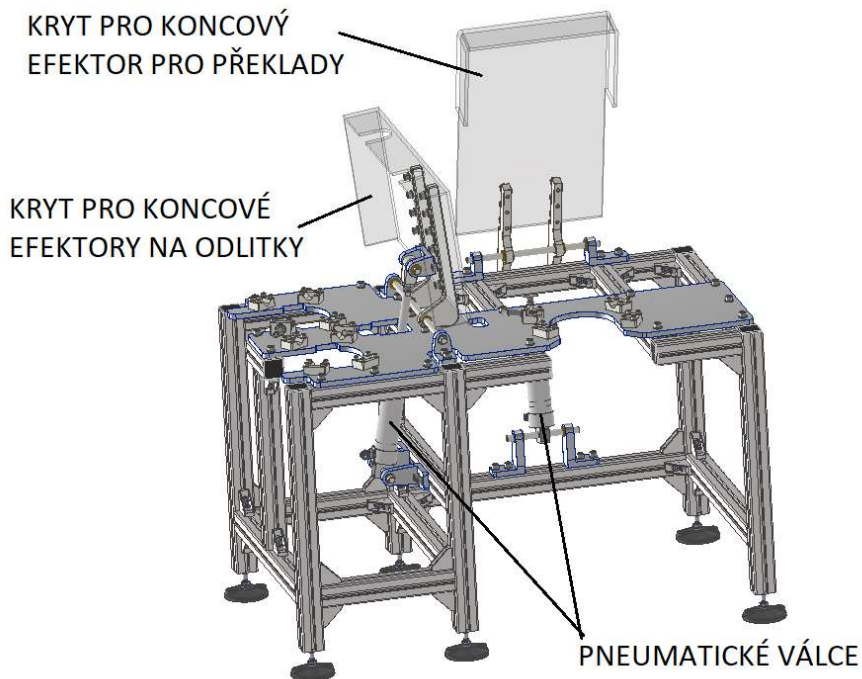
Obr. 44) Rám odkladače koncových efektorů

Na horní stranu rámu je umístěna deska z duralu o tloušťce 10 mm. K rámu je uchycena pomocí šroubů M8. V desce jsou vytvořeny otvory, které definují jednotlivé pozice pro koncové efekty.



Obr. 45) Rám s osazenou horní deskou

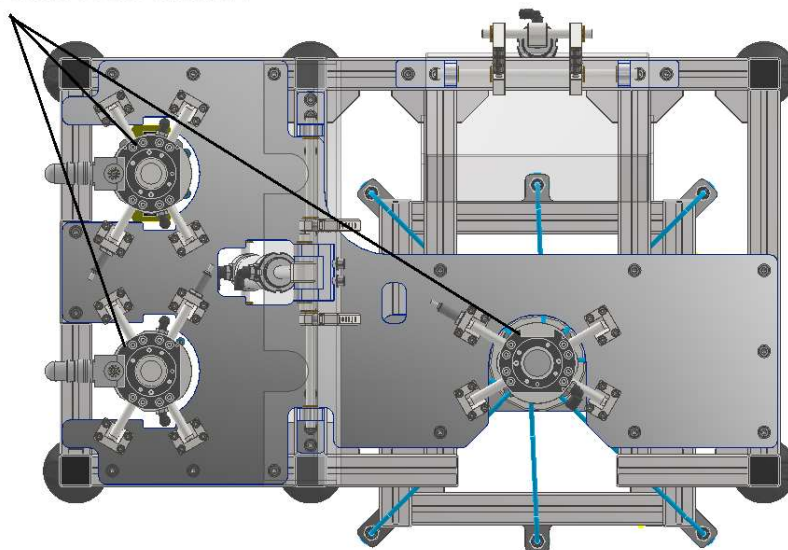
Aby nedocházelo ke znečištění adaptérů na koncových efektorech, je konstrukce odkladače vybavena výklopnými kryty. Celkem jsou použity dva kryty. První kryt se využívá pro krytí adaptérů koncových efektorů pro odlitky a druhý kryt slouží pro krytí adaptéru koncového efektoru pro překlady. Tyto kryty jsou vyrobeny z průhledného polykarbonátu a jsou přichyceny k výklopné konstrukci, která je ovládána pomocí pneumatických válců.



Obr. 46) Stojan pro koncové efekторы s kryty

Pro spolehlivou automatickou výměnu koncových efektorů je nutné, aby koncové efekторы, které jsou uloženy v odkladači, měly přesně definovanou polohu. Přesná poloha je u každé pozice pro koncový efektor zajištěna pomocí čtyř podložek. V podložkách je vytvořena drážka, do které zapadá čep, který je uchycený na konstrukci koncového efektoru.

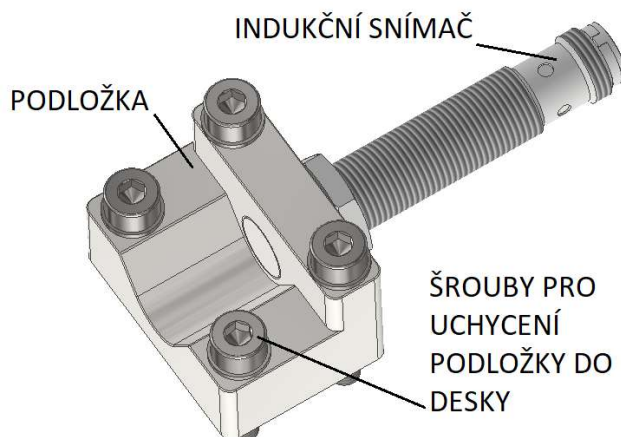
KONCOVÉ EFEKTORY V  
JEDNOTLIVÝCH POZICÍCH



Obr. 47) Koncové efekторы uložené v odkladači koncových efektorů

U každé pozice pro koncový efektor je do jedné podložky integrován indukční snímač od společnosti IFM s označením IFT258. [36]

Snímač detekuje čep na konstrukci koncového efektoru a tím zajišťuje detekci přítomnosti koncového efektoru v odkládací pozici.

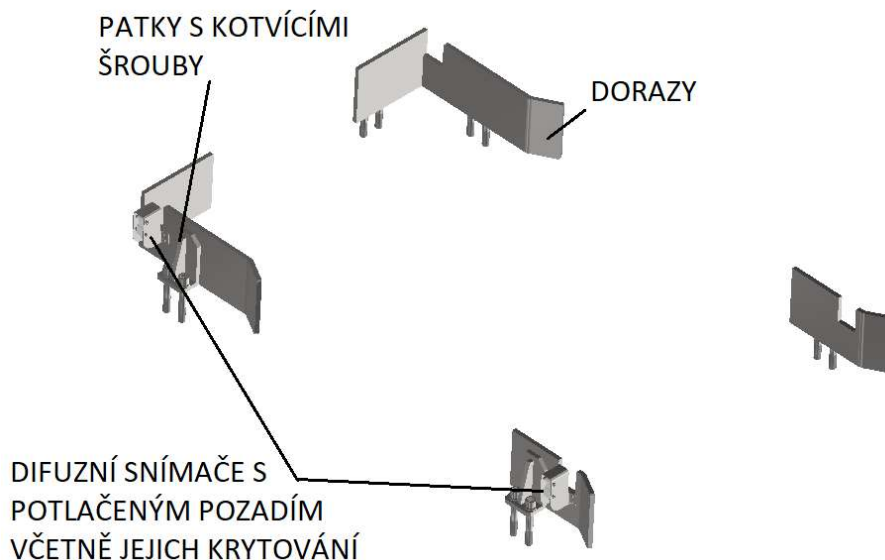


Obr. 48) Podložka s integrovaným indukčním snímačem



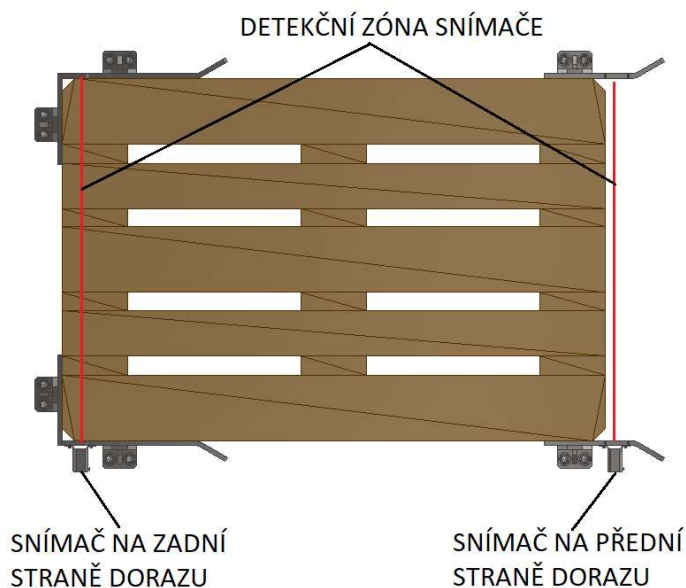
## 5.5 Konstrukce dorazu na palety

Palety s překlady a palety s bednami pro odlitky musí mít pro zajištění spolehlivého chodu robotizované buňky přesně definovanou polohu. Poloha je zajištěna paletovými dorazy. Dorazy jsou konstruovány jako svařence z plochých profilů o tloušťce 10 mm. Pro zajištění detekce přítomnosti palety jsou použity difuzní snímače se zatemněným pozadím BALLUFF BOS R254K-UII-LH10-S4 s připojovacím konektorem se závitem M12x1. [37]



Obr. 49) Doraz na paletu

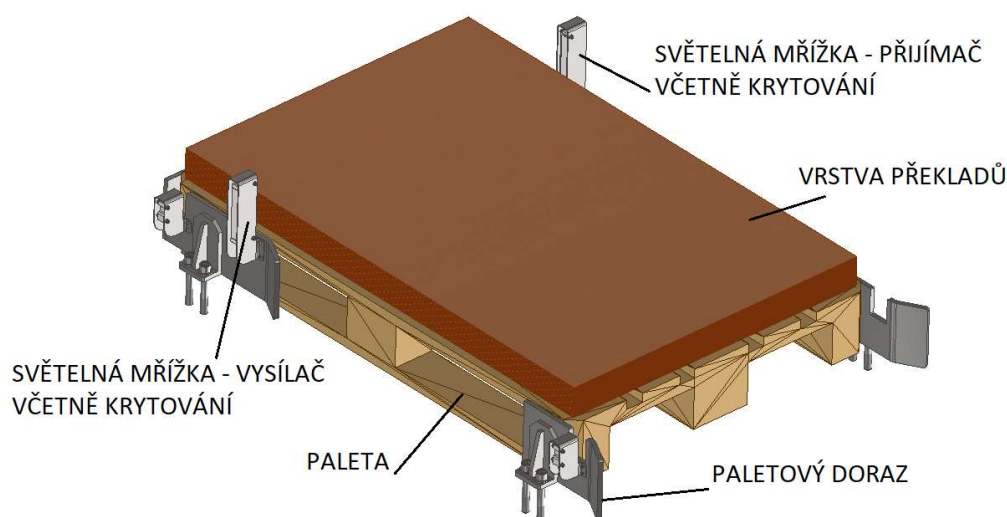
Každý doraz pro palety obsahuje dva difuzní snímače. Snímače se využívají nejen pro detekci přítomnosti palety, ale i k detekci jejího správného usazení. V případě, že snímač na přední straně dorazu paletu nezaznamená a snímač na zadní straně dorazu paletu zaznamená, znamená to, že paleta je usazena správně. Znárodnění správně usazené palety v paletovém dorazu je na následujícím obrázku Obr. 50.



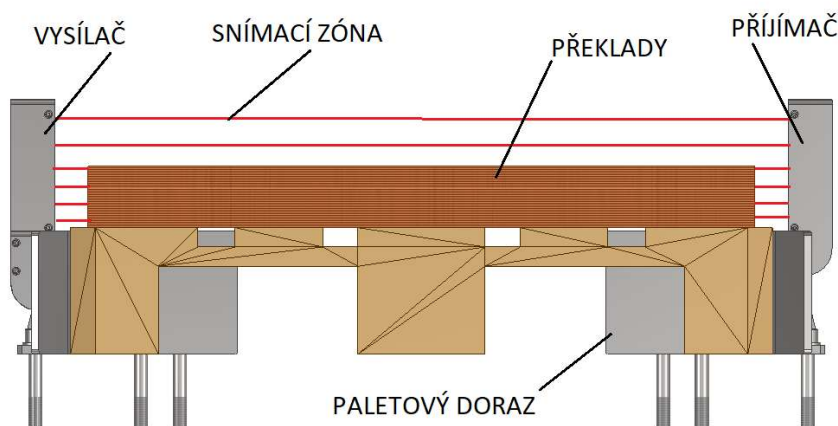
Obr. 50) Správně usazená paleta v paletovém dorazu

Paletový doraz pro paletu s překlady, který je umístěn ve výstupní části robotizované buňky, je vybaven světelnou mřížkou BALLUFF BLG 1-010-210-050-PV01-SX s přípojemným konektorem se závitem M12x1. Jedná se o jednocestnou optickou závoru. Její primární využití je pro monitorování množství naskládaných překladů na paletě. Světelná mřížka disponuje analogovým výstupem 0-10V, čímž umožňuje detekovat klesající počet překladů na paletě. Při nízkém počtu překladů je vystaven pokyn k jejich doplnění. [38]

Použití světelné mřížky zvyšuje bezobslužný provoz tím, že umožňuje připravit větší počet překladů než je nutné a tedy nemusí docházet k jejich častému doplňování.



Obr. 51) Pohled na umístění světelné mřížky



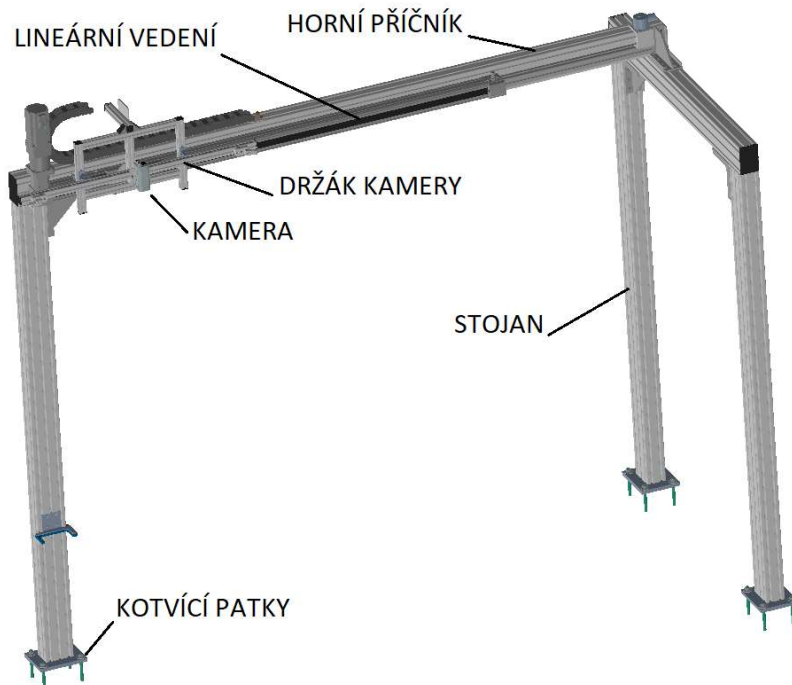
Obr. 52) Ilustrace snímací zóny světelné mřížky

## 5.6 Konstrukce stojanu pro Bin picking

Základ stojanu je převzat z 3D modelu, který poskytl vedoucí diplomové práce. Úprava původního modelu spočívá v rozšíření délky posuvu lineárního vedení kamery o 500 mm. Hlavním prvkem konstrukce je stojan, který se skládá z hliníkových profilů a spojovacích a kotvicích prvků. Hliníkové profily mají průřez 120 x 80 mm. Kamera je spolu s liniovými lasery umístěna na kamerovém držáku, který je součástí lineárního vedení. Lineární vedení je

umístěno na horním příčníku stojanu a umožňuje pojezd o délce 1800 mm. Délka pojezdu umožňuje naskenování celého prostoru pro bedny s odlitky. Skenováním se vytvoří 3D obraz snímaného prostoru a dojde k výpočtu trajektorií.

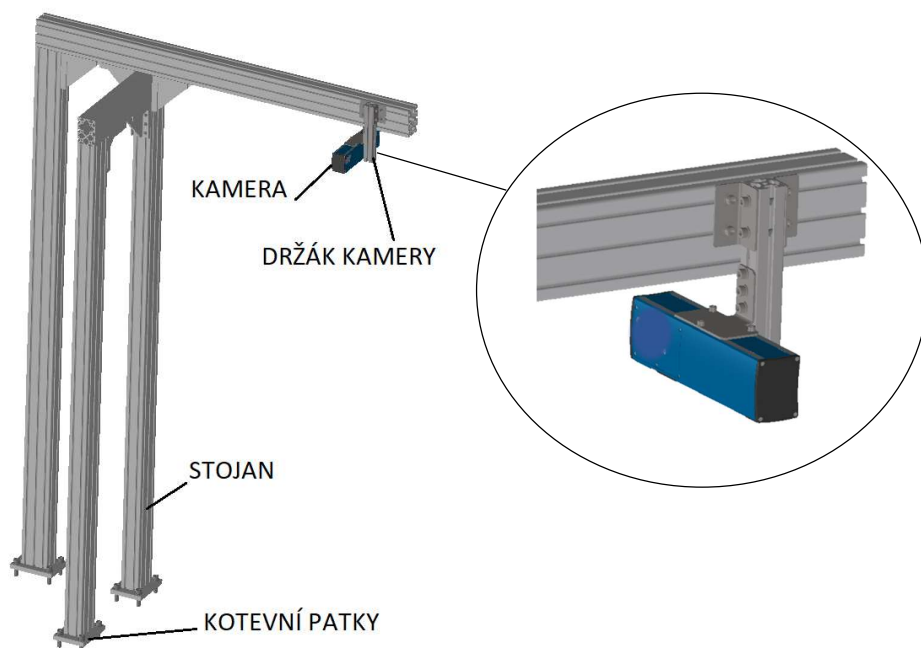
Typ zvolené kamery je SICK Ranger-E55414. [39]



Obr. 53) Konstrukce stojanu pro Bin picking

### 5.7 Konstrukce stojanu pro výstupní kamerový systém

Konstrukce stojanu slouží k uchycení kamery, která snímá odlitky na výstupní straně pásového dopravníku tryskacího stroje. Stojan se skládá z hliníkových profilů s průřezem 120 x 80 mm. Držák kamery je tvořen z hliníkového profilu s průřezem 40 x 40 mm. Tento profil je uchycen pomocí úhelníků ke konstrukci stojanu. Kamera je prostřednictvím svých montážních otvorů uchycena k profilu držáku. Kamerový systém je zvolen od společnosti SICK a jedná se o kameru SICK TriSpectorP1000. [40]



Obr. 54) Stojan pro 3D kameru a detail na uchycení kamery



## 6 VÝBĚR ROBOTŮ

Roboty, použité v robotizované buňce, jsou vybrány na základě požadované nosnosti a dosahu. Největší zátěž v robotizované buňce představuje manipulace s překlady. Celková hmotnost překlada s koncovým efektozem činí 12,612 Kg. Prostorové rozmístění jednotlivých prvků v robotizované buňce vyžaduje robot s dosahem alespoň 2300 mm. Pro požadovanou manipulovanou hmotnost a požadovaný dosah, vyhovují některé typy robotů z řady KUKA KR IONTEC. Daným požadavkům vyhovuje použití robotů KR 20 R3100 a KR 50 R2500. Jejich základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 11.

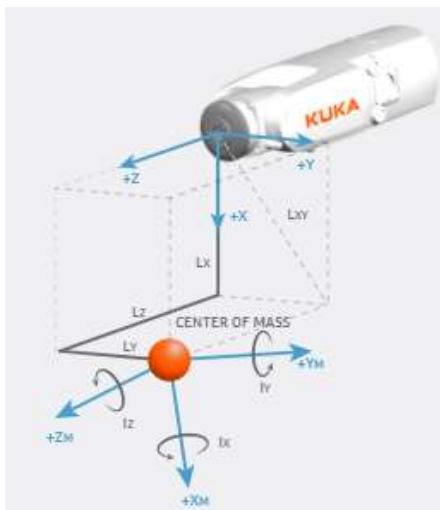
Tab 11) Parametry robotů KUKA KR IONTEC [41]

Parametry robotů KUKA KR IONTEC			
Název	Dosah	Nosnost	Počet os
KUKA KR 20 R3100	3100 mm	20 kg	6
KUKA KR 50 R2500	2500 mm	50 kg	6

Aby byla zajištěna rezerva ve výkonosti robotu je vhodné, aby zatížení žádné osy robotu při manipulaci nepřesáhlo 85% výkonu.

Analýza zatížení robotů je provedena ve webové aplikaci KUKA COMPOSE. [42]

Vstupními údaji pro analýzu jsou: hmotnost manipulovaného předmětu, souřadnice těžiště zátěže od příruby robotu a momenty setrvačnosti zátěže k jednotlivým osám. Hodnoty uvedené v následující tabulce Tab. 12., jsou získány z programu Autodesk INVENTOR a jsou zadány do aplikace KUKA COMPOSE. Zadání hodnot do aplikace KUKA COMPOSE probíhá podle schématu na následujícím obrázku Obr. 55.



Obr. 55) Schéma zadání hodnot - KUKA COMPOSE [42]

Tab 12) Údaje z programu Autodesk INVENTOR

Vstupní parametry pro analýzu zatížení	
Hmotnost	12,612 kg
Vzdálenost těžiště v ose X: Lx	-0,154 mm
Vzdálenost těžiště v ose Y: Ly	0,138 mm
Vzdálenost těžiště v ose Z: Lz	203,7 mm
Moment setrvačnosti k ose X: Ix	0,311 kgm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti k ose Y: Iy	0,428 kgm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti k ose Z: Iz	0,594 kgm <sup>2</sup>

Následující obrázky Obr. 56 a Obr. 57 zobrazují zatížení jednotlivých os robotů ze statického i dynamického hlediska.



Obr. 56) Statické zatížení os robotů – KUKA COMPOSE [42]

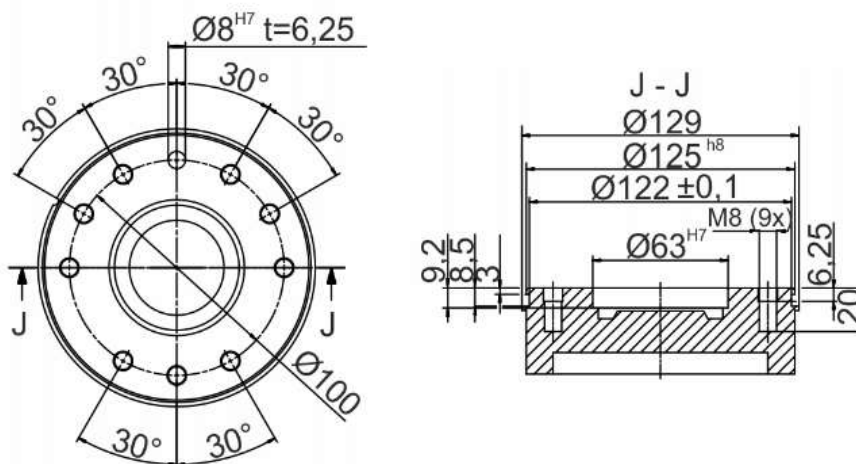


Obr. 57) Dynamické zatížení os robotů – KUKA COMPOSE [42]

Z analýzy plyne, že výkonové zatížení robotu KUKA KR 20 R3100 na některých osách převyšuje hodnotu 90%. Z tohoto důvodu je vybrán robot KUKA KR 50 R2500, který poskytuje výkonostní rezervu.

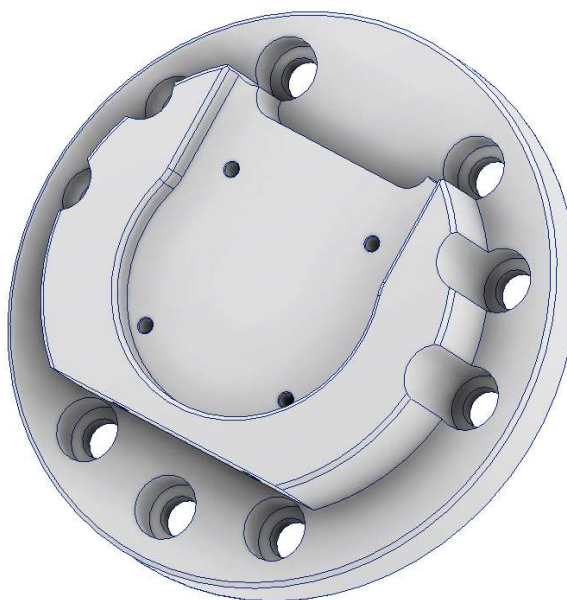
## 6.1 Konstrukce příruby robotu KUKA KR50 R2500

Na následujícím obrázku Obr. 58. je zobrazena podoba příruby na vybraném robotu KUKA KR50 R2500.



Obr. 58) Příruba robotu KUKA KR50 R2500 [43]

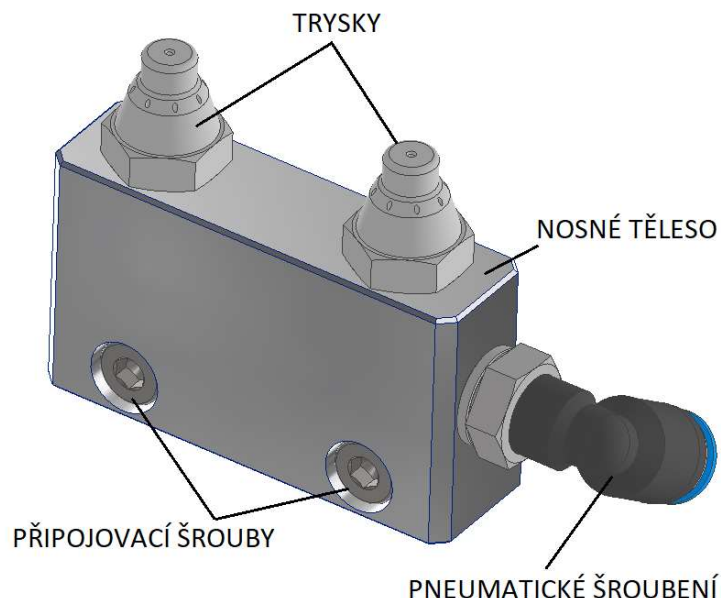
Část adaptéru automatické výměny koncových efektorů, která patří na stranu robotu, nelze přímo připojit k přírubě robotu. Je nutné navrhnout spojovací mezikus. Návrh spojovacího mezikusu je na obrázku Obr. 59. Materiál mezikusu je dural.



Obr. 59) Mezikus pro připojení adaptéru automatické výměny s přírubou robotu

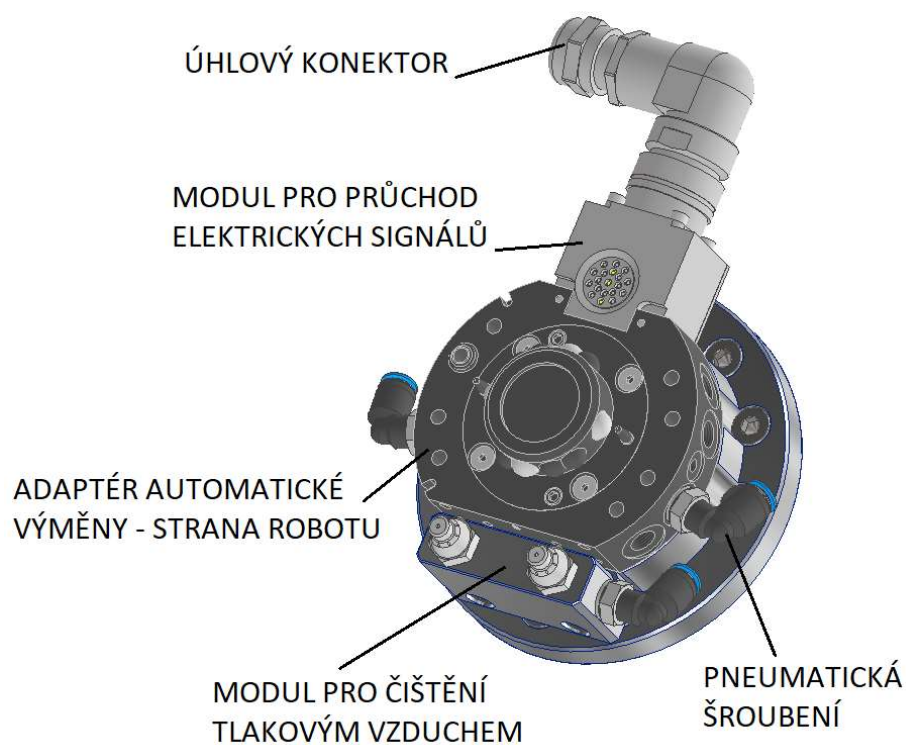
K mezikusu je pomocí dvou šroubů M5 přichycen modul pro občasné čištění adaptérů koncových efektorů stlačeným vzduchem. Stlačený vzduch je do modulu přiváděn pomocí pneumatického šroubení FESTO QSL-G1/8-6. Vzduch uniká přes dvě trysky FESTO LPZ-SD a tím očistí dosedací plochy adaptérů automatické výměny na koncových efektorech v

odkladači. Během čištění robot vykoná krátký pohyb tak, aby byla očištěna celá plocha adaptéru.



Obr. 60) Modul pro čištění adaptérů automatické výměny stlačeným vzduchem

Součástí příruby je také adaptér automatické výměny koncových efektorů na straně robotu SCHUNK SWK-021-000-000, dále modul pro průchod elektrických signálů SCHUNK SWO-K19-K, úhlový konektor KAS-19B-K-90-C a pneumatická šroubení. Celková podoba příruby robotu je na obrázku Obr. 61.



Obr. 61) Příruba robotu

## 7 VÝBĚR BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ

Pro zajištění bezpečnosti práce je nutné vybavit robotizovanou buňku různými prvky, které zabraňují vzniku nebezpečných situací a případným zraněním.

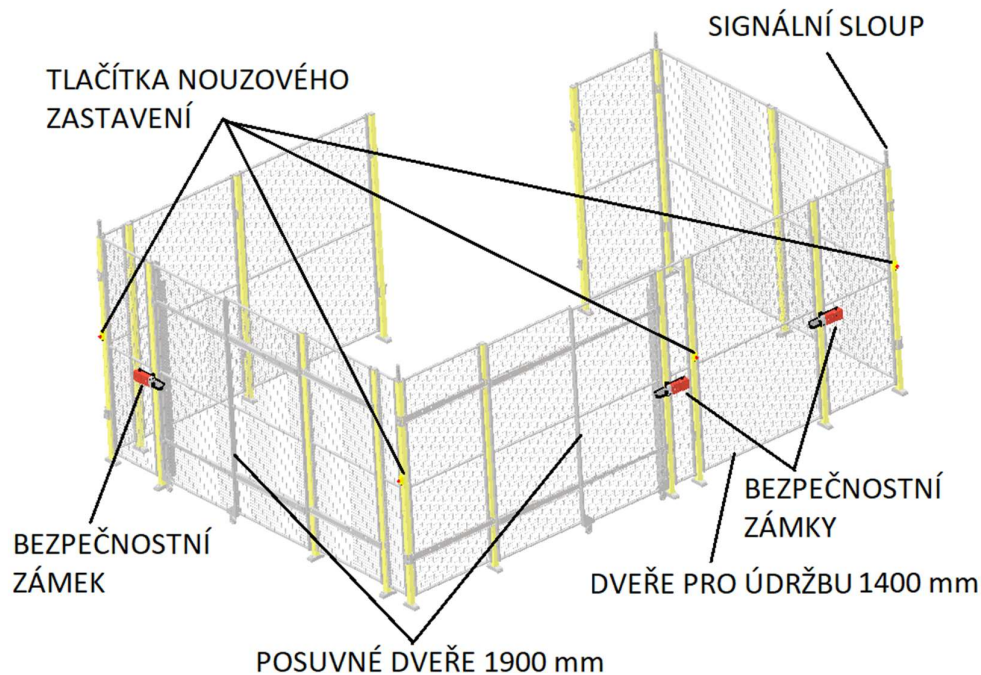
### 7.1.1 Ochranné oplocení vstupní části buňky

Ochranné oplocení je vybráno od společnosti AXELENT. Konkrétně se jedná o edici X-Guard. Jsou použity panely s pletivem s velikostí ok 49x29 mm a sloupky s průřezem 50x50 mm. [44]

Pro velikost ok 49x29 mm je podle normy ČSN EN ISO 13857 nutná vzdálenost od nebezpečného místa 200 mm. Výška oplocení je také definována normou ČSN EN ISO 13857. [45]

Na základě naměřených údajů vzdálenosti nebezpečných míst od ochranného oplocení je zvolena výška ochranného oplocení 2000 mm.

Ochranné oplocení vstupní části buňky je vybaveno několika vstupními prostory. Hlavní vstupní prostory slouží pro dopravu palet a beden. Tyto prostory jsou vybaveny posuvnými dveřmi o šířce 1900 mm. Dalším vstupním prostorem jsou dveře na pantech o šířce 1400 mm. Tyto dveře slouží primárně pro potřeby údržby tryskacího stroje. Všechny dveře jsou vybaveny bezpečnostními zámky a na několika místech ochranného oplocení jsou umístěny tlačítka nouzového zastavení.



Obr. 62) Ochranné oplocení vstupní části buňky

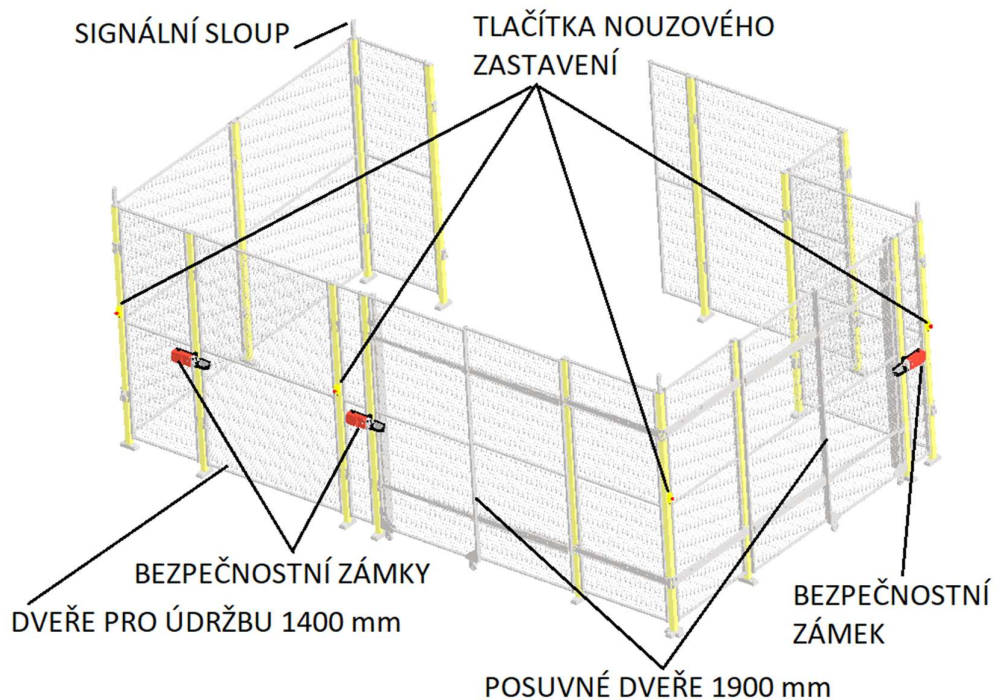
### 7.1.2 Ochranné oplocení výstupní části buňky

Stejně jako v případě vstupní části buňky je zde vybráno ochranné oplocení od společnosti AXELENT. Jedná se o stejný druh panelů a sloupků. Výška oplocení je shodná s výškou oplocení vstupní části buňky.



Vstupní prostory jsou opět realizovány posuvnými dveřmi s šířkou 1900 mm, které slouží k dopravě palet a beden. Pro zajištění prostoru pro údržbu stroje, jsou opět použity dveře na pantech o šířce 1400 mm.

Použité bezpečnostní zámky a tlačítka nouzového zastavení jsou stejné jako u vstupní části buňky.



Obr. 63) Ochranné oplocení výstupní části buňky

### 7.1.3 Bezpečnostní zámek dveří

Všechny dveře v ochranném oplocení robotizované buňky jsou vybaveny bezpečnostními zámky. Je použit bezpečnostní zámek ABB GKey. Zámek ABB GKey je vhodný pro posuvné dveře i pro dveře na pantech. Umožňuje instalaci celkem čtyř ovládacích zařízení, jako jsou tlačítka nebo přepínače. Zámek také umožňuje nouzové otevírání dveří v případě potřeby uniku z nebezpečné oblasti. Zámek odpovídá normám ČSN EN ISO 14119 a ČSN EN ISO 13849-1. [46], [51]



Obr. 64) Bezpečnostní zámek ABB GKey [46]

#### 7.1.4 Tlačítko nouzového zastavení

V případě bezpečnostního rizika musí existovat možnost nouzového zastavení všech zařízení v robotizované buňce. Z tohoto důvodu jsou použita tlačítka nouzového zastavení. Konkrétně se jedná o tlačítka ABB Smile.

Tlačítko odpovídá normám ČSN EN ISO 13849-1 a ČSN EN ISO 13850. [52]

Norma ČSN EN ISO 13850 definuje umístění tlačítka ve výšce 0,6 – 1,7 m nad úrovní podlahy. [53]



Obr. 65) Tlačítko nouzového zastavení ABB Smile [47]

#### 7.1.5 Signální sloupy

Rohové sloupky ochranného oplocení jsou vybaveny signálními sloupy. Sloupy se skládají ze tří barevných částí a slouží pro poskytování informací o aktuálním stavu robotizované buňky. Červená barva značí nebezpečnou situaci, žlutá barva značí poruchu a zelená bezporuchový stav.



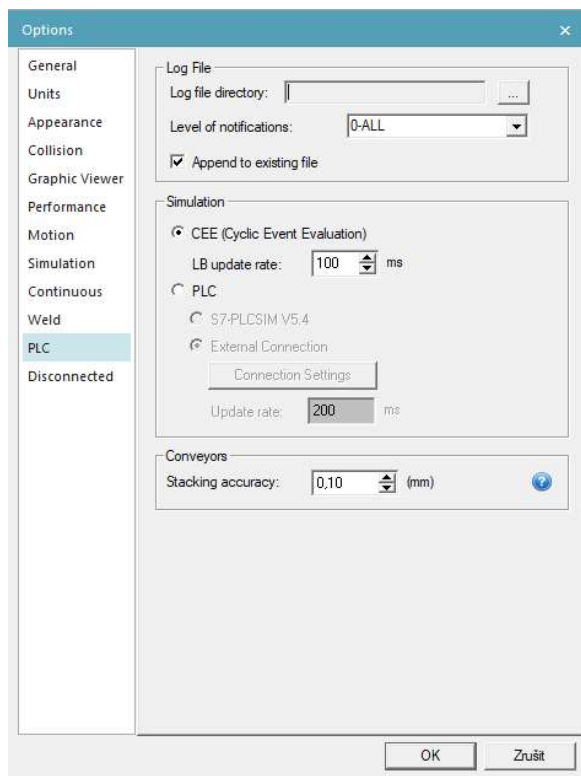
Obr. 66) Signální sloup [48]





## 8 SIMULACE V TECHNOMATIX PROCESS SIMULATE

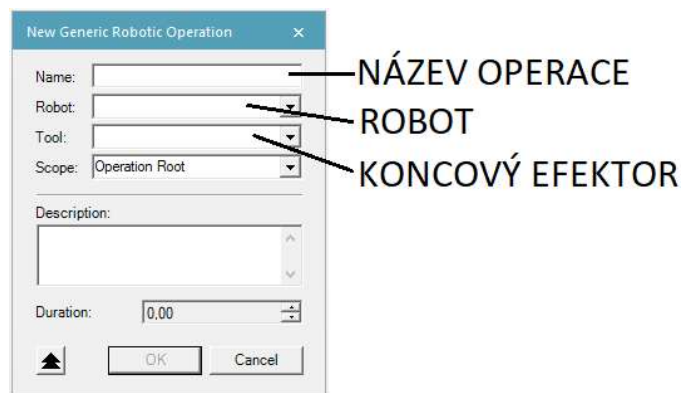
Simulace je vytvořena na základě využití signálů, logických bloků a logických modulů. Jejich použití vede k vytvoření událostně řízené simulace, která se blíží reálnému chování skutečného robotizovaného pracoviště. Simulace je vytvořena v módu CEE (Cyclic event evaluation).



Obr. 67) Nastavení simulace

### 8.1 Vytvoření trajektorií

Všechny manipulační trajektorie jsou vytvořeny pomocí funkce *New Generic Robotic Operation*. Pro definování trajektorie pomocí této funkce je nutné uvést: název operace, robot vykonávající danou operaci a jeho koncový efektor.



Obr. 68) Definice operace *New Generic Robotic Operation*

Po založení nové operace se pomocí funkce *Robot Jog* pohybuje robotem do požadovaných průjezdných bodů v prostoru. Jednotlivé body se pomocí funkcí: *Add Current Location*, *Add Location After* a *Add Location Before*, přidávají do vytvořené operace. Tyto funkce nalezneme v záložce *Operation*.



Obr. 69) Funkce pro přidávání průjezdných bodů v prostoru

U jednotlivých bodů trajektorie lze nastavovat rychlost, bázi, OLP příkazy a další. OLP příkazy slouží například pro řízení otevírání a zavírání čelistí koncového efektoru.

Paths & Locations	Path #	OLP Commands	Motion	Speed	Zone	Config	Base Nr
B1_manipulace_homi_odlitek_bedna_1							
via1			PTP	100 %	C_DIS 50 mm	S 2 T 42	0 - WorldFrame
via2			LIN	2 m/s	C_DIS 50 mm	S 2 T 34	0 - WorldFrame
via4			PTP	100 %	C_DIS 50 mm	S 2 T 34	1 - B1_bedna_1
via5			LIN	2 m/s	FINE	S 2 T 34	1 - B1_bedna_1
via6		# Attach odlitek_homi_patro	LIN	0.1 m/s	FINE	S 2 T 34	1 - B1_bedna_1
via5			LIN	2 m/s	FINE	S 2 T 34	1 - B1_bedna_1
via7			LIN	2 m/s	C_DIS 50 mm	S 2 T 34	1 - B1_bedna_1
via9			LIN	2 m/s	C_DIS 50 mm	S 2 T 10	0 - WorldFrame
via10			LIN	2 m/s	C_DIS 50 mm	S 2 T 11	0 - WorldFrame
via11			LIN	2 m/s	FINE	S 2 T 11	0 - WorldFrame
via12		# Destination KE_odlitek_2.ip	LIN	0.1 m/s	C_DIS 10 mm	S 2 T 11	0 - WorldFrame
via137			LIN	0.155 ...	C_DIS 10 mm	S 2 T 11	0 - WorldFrame
via13			LIN	2 m/s	FINE	S 2 T 11	0 - WorldFrame
via1			PTP	100 %	C_DIS 50 mm	S 2 T 42	0 - WorldFrame

Obr. 70) Vytvořená trajektorie s průjezdnými body a dalším nastavením

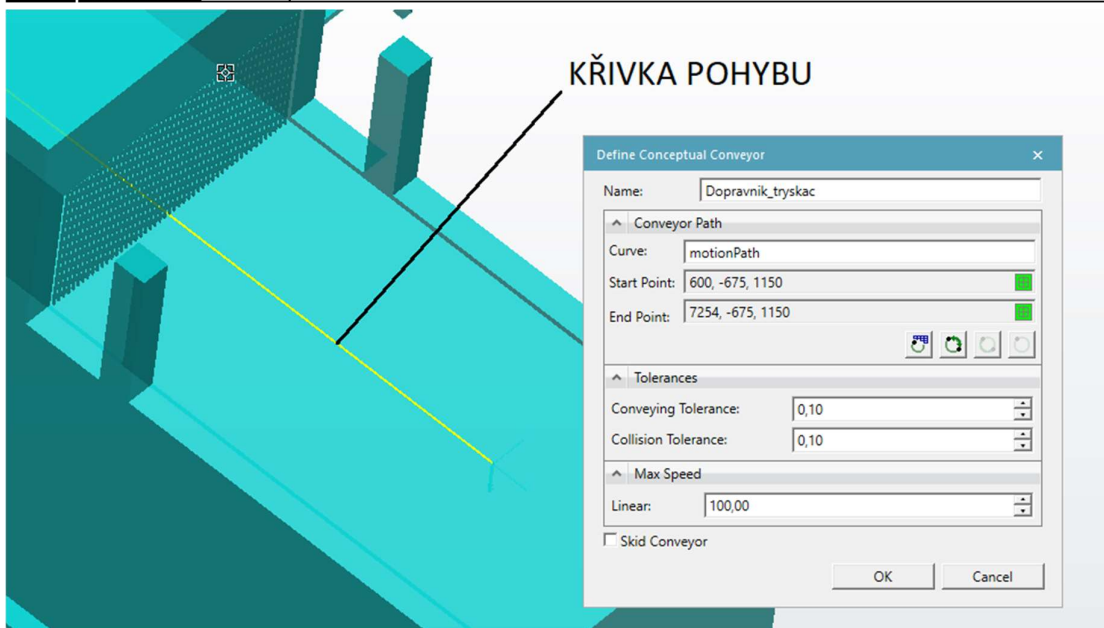
## 8.2 Definice funkčnosti komponent

Pro vytvoření co nejpřesnější simulace je nutné definovat funkčnost jednotlivých komponent. Mezi tyto komponenty se řadí především pásový dopravník tryskacího stroje, koncové efektor a odkladače koncových efektorů. Tyto komponenty obsahují pohyblivé součásti, jejichž pohyb je nutné zahrnout do simulace.

Aby bylo možné provádět jakékoli úpravy chování komponent je nutné, aby komponenty byly ve stavu *Set Modeling Scope*. Po kliknutí na komponentu lze tento stav nastavit v záložce *Modeling* → *Set Modeling Scope*.

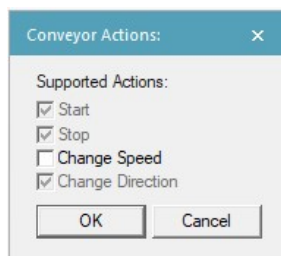
### 8.2.1 Definice pásového dopravníku tryskacího stroje

Pásový dopravník tryskacího stroje se definuje pomocí funkce *Define Conveyor* v záložce *Control*. Hlavními údaji pro vytvoření dopravníku jsou: název dopravníku, křivka pohybu (*Curve*) a rychlost dopravníku. Křivka pohybu se vytváří pomocí funkce *Create Polyline*, kterou najdeme v *Modeling* → *Curves* → *Create Polyline*. Rychlost dopravníku lze upravit podle potřeby simulace.



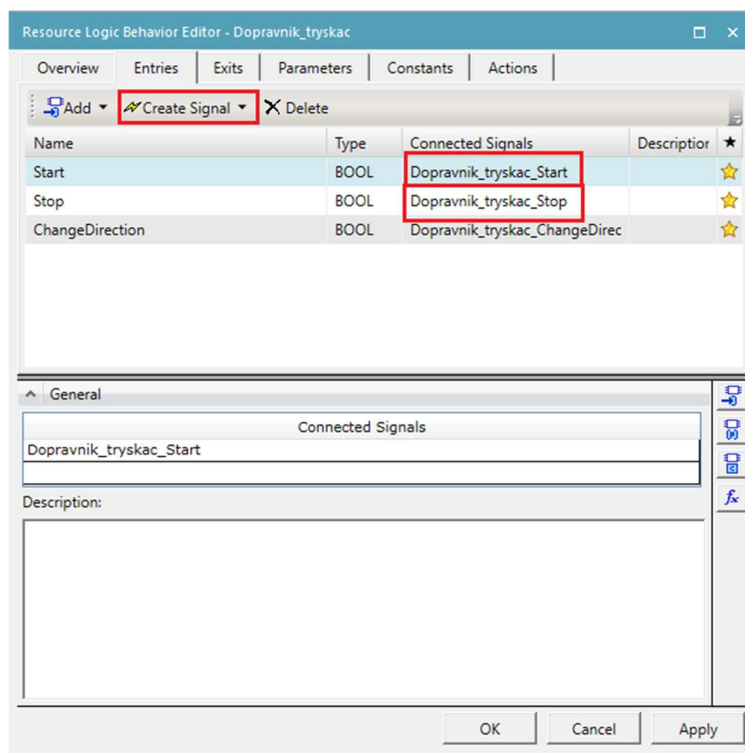
Obr. 71) Definice pásového dopravníku tryskacího stroje

Následuje definice signálů pro řízení činnosti dopravníku. Ve funkci *Edit Conveyor LB* vybereme jaké akce chceme u dopravníku ovládat. Nejdůležitější jsou akce Start a Stop.



Obr. 72) Výběr akcí pro dopravník

Po výběru akcí se otevře okno pro definici logického bloku dopravníku. Pro činnost dopravníku stačí vytvořit signály pro jeho zapínání a vypínání. Tyto signály vytvoříme v záložce *Entries* pomocí funkce *Create Signal*. Uvedené signály jsou z pohledu z řídicího systému. Pohled z řídicího systému znamená, že signál který je pro určité zařízení definován jako vstupní, je pro řídicí systém definován jako výstupní. Zde tedy vytváříme dva výstupní signály: *Dopravnik\_tryskac\_start* a *Dopravnik\_tryskac\_stop*, jejichž přesné názvy lze nastavit v *View* → *Viewers* → *Signal Viewer*.

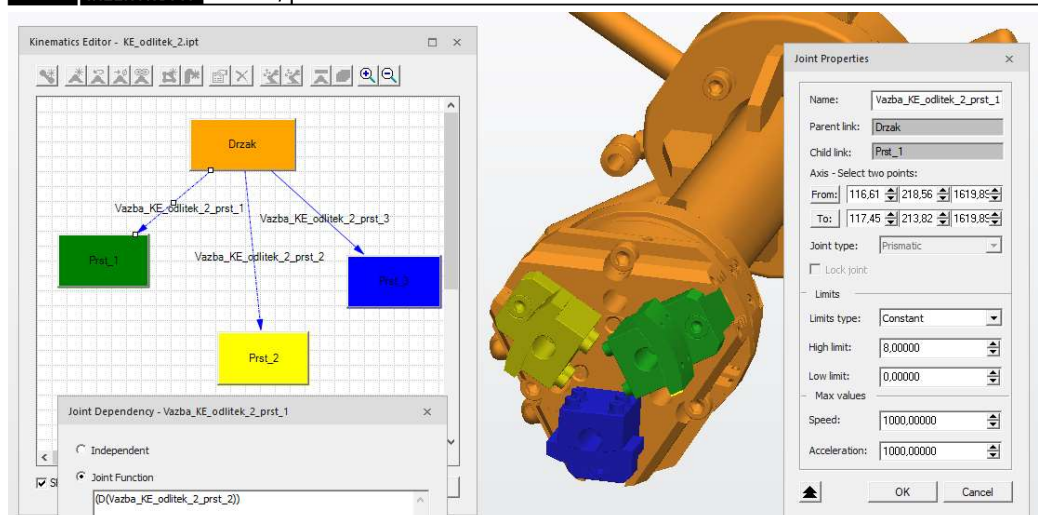


Obr. 73) Vytvoření signálů pro řízení dopravníku

### 8.2.2 Definice koncových efektorů

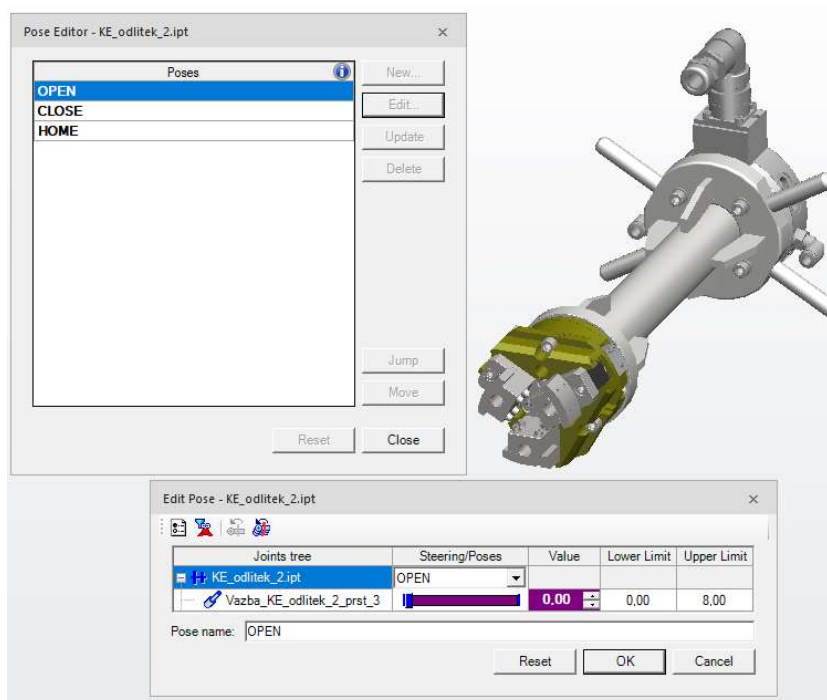
Koncové efektor jsou vybaveny pohyblivými čelistmi. Čelistem je nutné definovat rozsah pohybu, který vychází z typu použitého chapadla. Pro koncový efektor pro odlitek č.1 je použito chapadlo se zdvihem čelistí 10 mm. Koncový efektor pro odlitek č.2 je vybaven chapadlem s maximálním zdvihem čelistí 8 mm. Následuje popis definice koncového efektoru pro odlitek č.2.

Pomocí funkce *Kinematic Editor* se definují kinematické vazby mezi jednotlivými součástmi v konstrukci koncového efektoru. Pomocí funkce *Joint Properties* se určí typ vazby (translační nebo rotační) a limity pohybu. Konstrukce koncových efektoru pro odlitky využívá čelisti s translačním pohybem. Zajištění paralelního chodu první a druhé čelisti je zajištěno příkazem (D(Vazba\_KE\_odlitek\_2\_prst\_2)). Paralelního chod druhé a třetí čelisti je zajištěn příkazem (D(Vazba\_KE\_odlitek\_2\_prst\_3)).



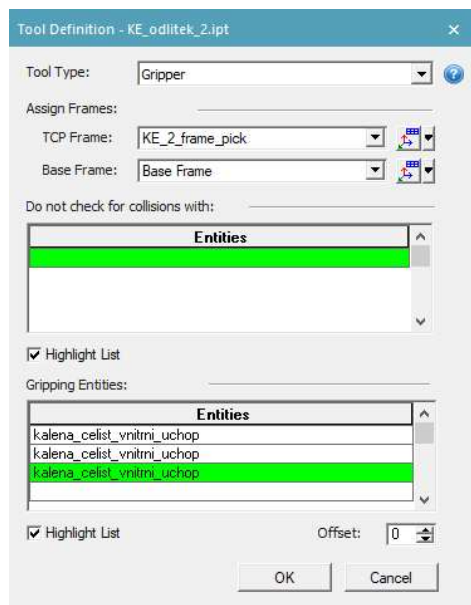
Obr. 74) Definice vazeb mezi součástmi koncového efektoru pro odlitek č.2

Následně jsou pomocí funkce *Pose Editor* vytvořeny stavy *OPEN* a *CLOSE*, které reprezentují otevřený a zavřený stav chapadla.



Obr. 75) Definování stavů otevřeno/zavřeno

Následně je nutné ve funkci *Tool Definition* nastavit typ koncového efektoru jako *Gripper* a vybrat součásti, které budou sloužit ke kontaktu s manipulovanými odlitky.

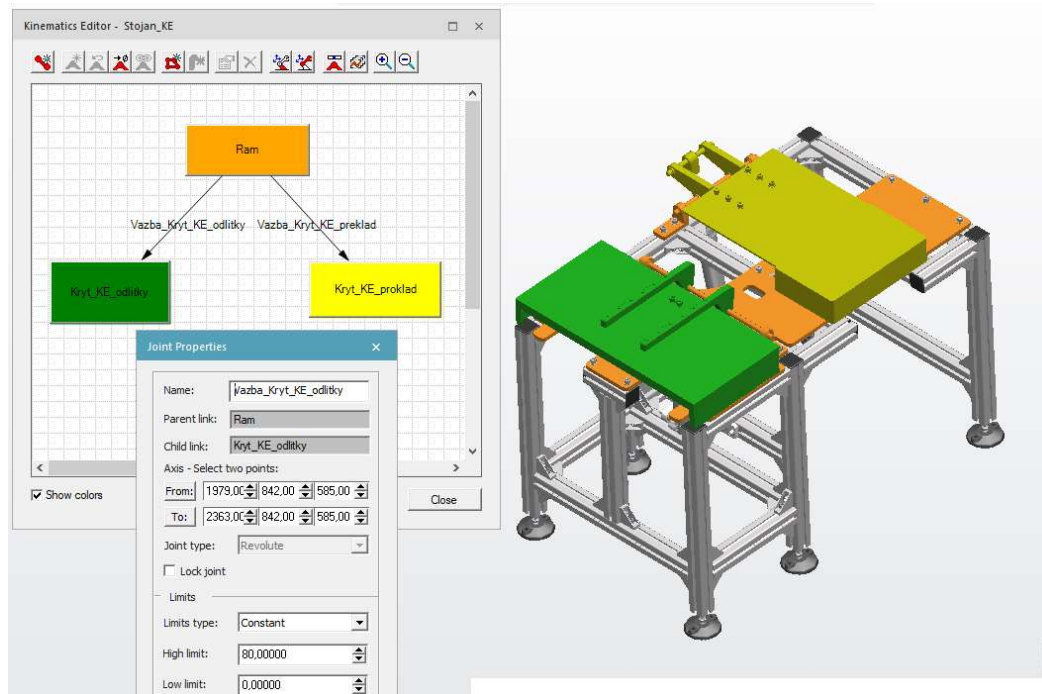


Obr. 76) Nastavení koncového efektoru a součástí pro úchop

Stejným způsobem je definován koncový efektor pro odlitek č.1.

### 8.2.3 Definice odkladače koncových efektorů

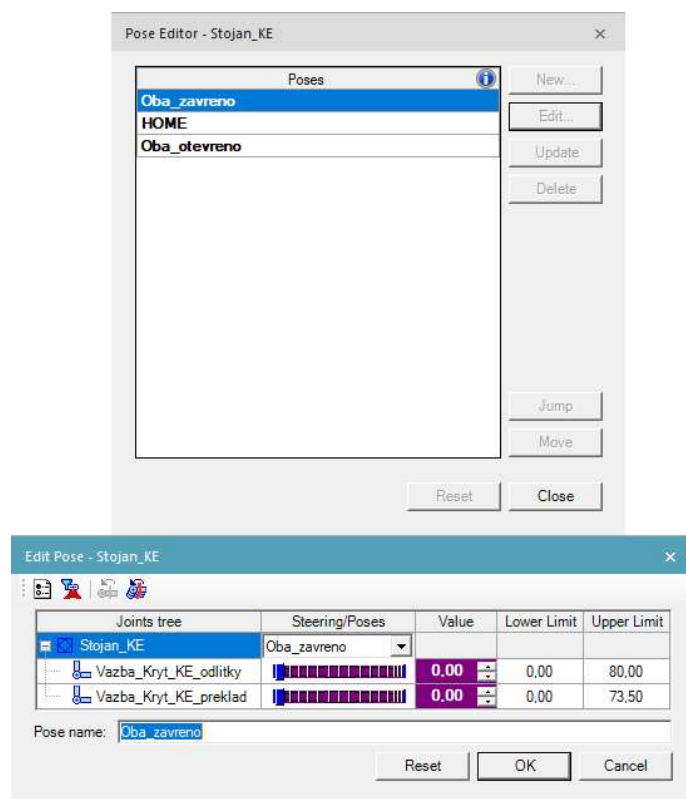
Definice kinematických vazeb u odkladače koncových efektorů je provedena stejným způsobem jako v případě koncového efektoru uvedeného výše. Rozdíl spočívá v tom, že je zvolena rotační vazba, neboť kryty jsou uloženy rotačně.



Obr. 77) Definice vazeb mezi součástmi odkladače koncových efektorů



Stavy odkladače koncových efektorů jsou rovněž vytvořeny pomocí funkce *Pose Editor*. Jsou definovány dva stavy: *OPEN* a *CLOSE*.



Obr. 78) Definování stavů Otevřeno/Zavřeno u odkladače koncových efektorů

Následuje definice signálů pro řízení činnosti odkladače koncových efektorů. Odkladače mají definované kinematické vazby pomocí funkce *Kinematic Editor* a stavy pomocí funkce *Pose Editor*. Právě tyto stavy lze ovládat pomocí vytvořených signálů.

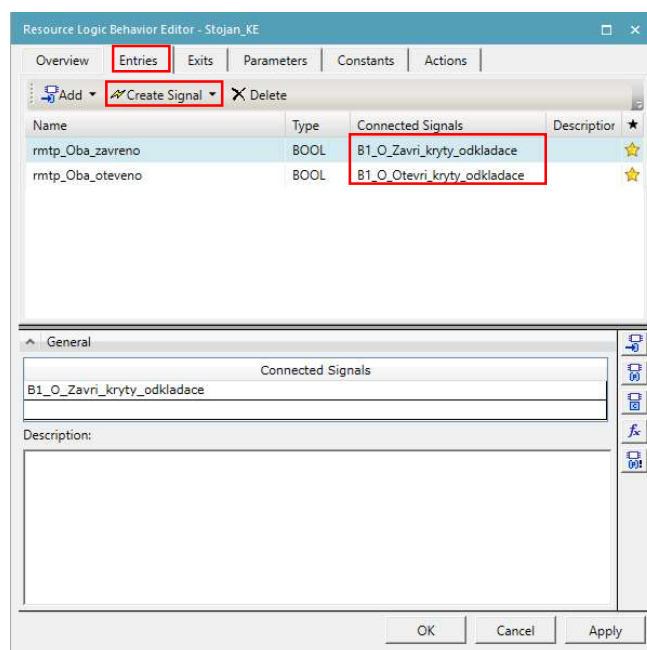
Pro vytvoření logického bloku je nutné levým tlačítkem myši označit odkladač koncových efektorů a převést ho do stavu *Set Modeling Scope*. Poté se v záložce *Control* zvolí funkce *Create LB Pose Action and Sensors*.

Následuje volba stavů, které se zahrnou do nově vytvořeného logického bloku.

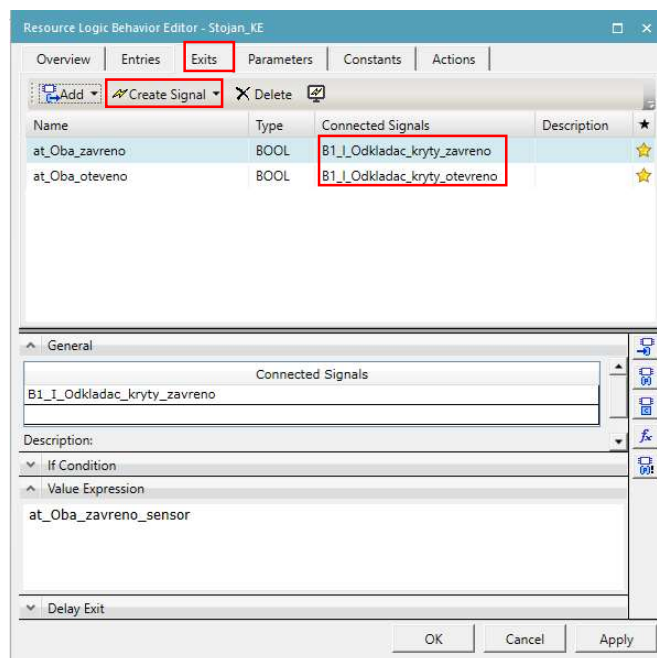


Obr. 79) Volba stavů pro vytvoření logického bloku

Po výběru stavů se otevře okno, kde se v záložkách *Entries* a *Exits* pomocí funkce *Create Signal*, vytvoří pro jednotlivé stavy vstupní a výstupní signály.



Obr. 80) Definice vstupních signálů v logickém bloku odkladače



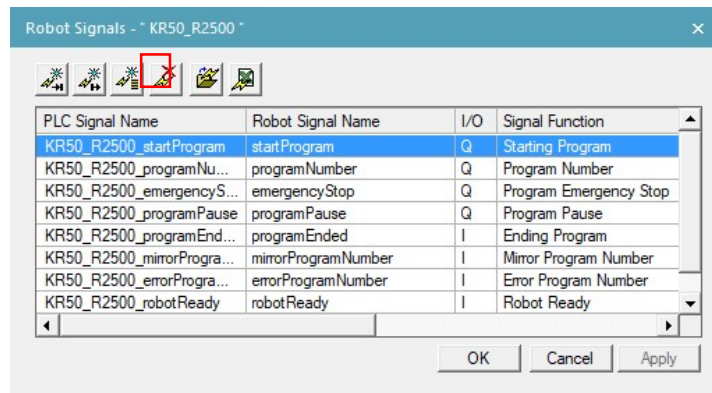
Obr. 81) Definice výstupních signálů v logickém bloku odkladače

### 8.3 Nastavení robotu

Řízení robotu se realizuje prostřednictvím několika základních signálů. Tyto signály lze vygenerovat pro každý robot v robotizované buňce. Označením robotu a volbou možnosti

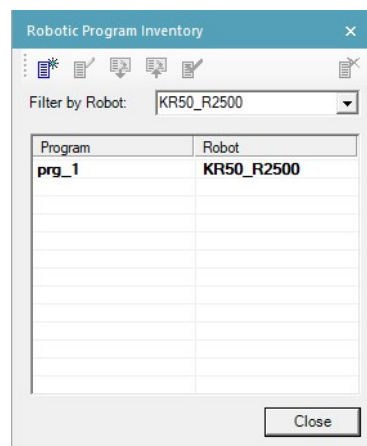


*Robot Signals* otevřeme okno ve kterém lze vytvářet signály pro roboty. Tlačítkem *Create Default Signals* vytvoříme základní robotické signály.



Obr. 82) Signály v *Robot Signals*

Jednotlivé manipulační operace se musí přiřadit konkrétním robotům, které je budou vykonávat. Operace se přidávají do robotických programů. Ve funkci *Robot Program Inventory* lze vytvořit nový program a do něho poté v *Path Editor* vkládat jednotlivé operace. Operace jsou označené unikátními čísly ve sloupci *Path #*. V průběhu simulace se na základě vyhodnocení signálů postupně volají jednotlivé operace podle těchto čísel.



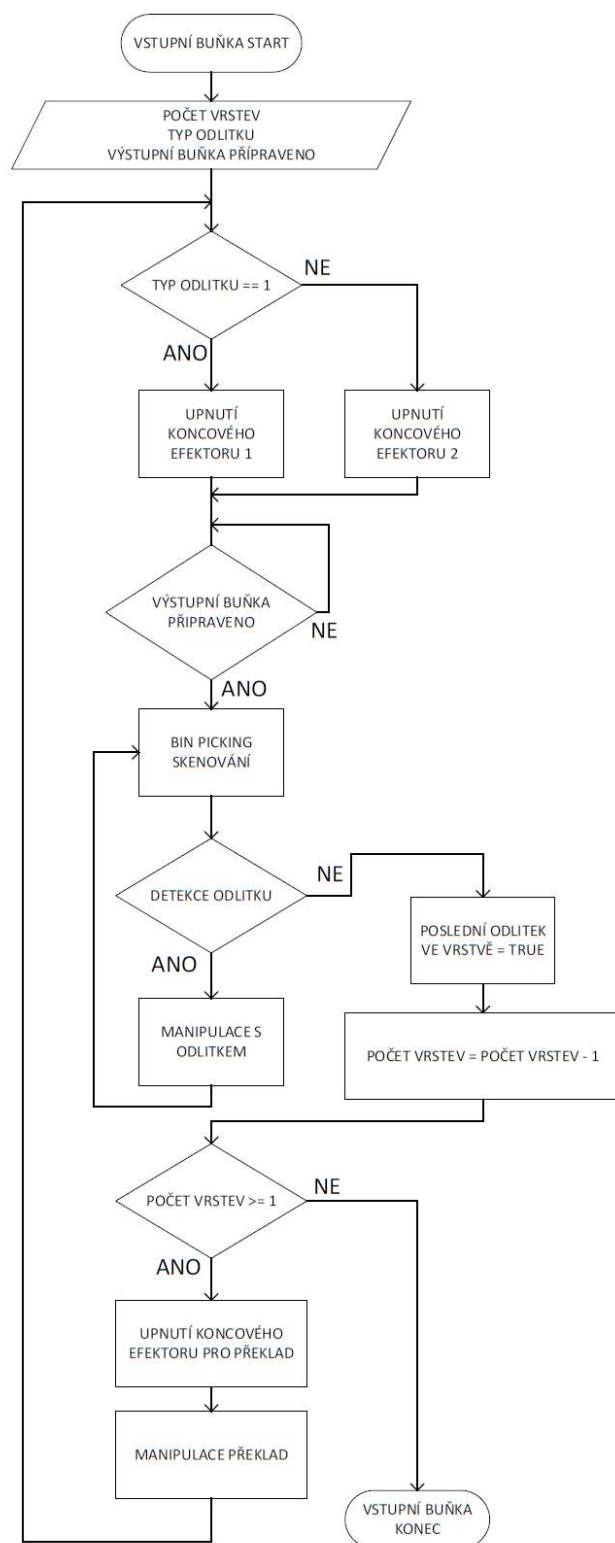
Obr. 83) Robot Program Inventory

Path Editor - KR50_R2500		
Paths & Locations	Path #	OLP Commands
prg_1		
B1_Manipulace_spodni_odlitek_bedna_2	17	
B1_Manipulace_preklad_2_bunka_1	81	
B1_manipulace_spodni_odlitek_bedna_1	15	
B1_manipulace_homi_odlitek_bedna_1	11	
B1_Vymena_KE_odlitek_2_za_KE_preklad	30	
B1_manipulace_preklad_1_bunka_1	80	
B1_Manipulace_homi_odlitek_bedna_2	13	
B1_Vymena_KE_preklad_za_KE_odlitek_2	40	

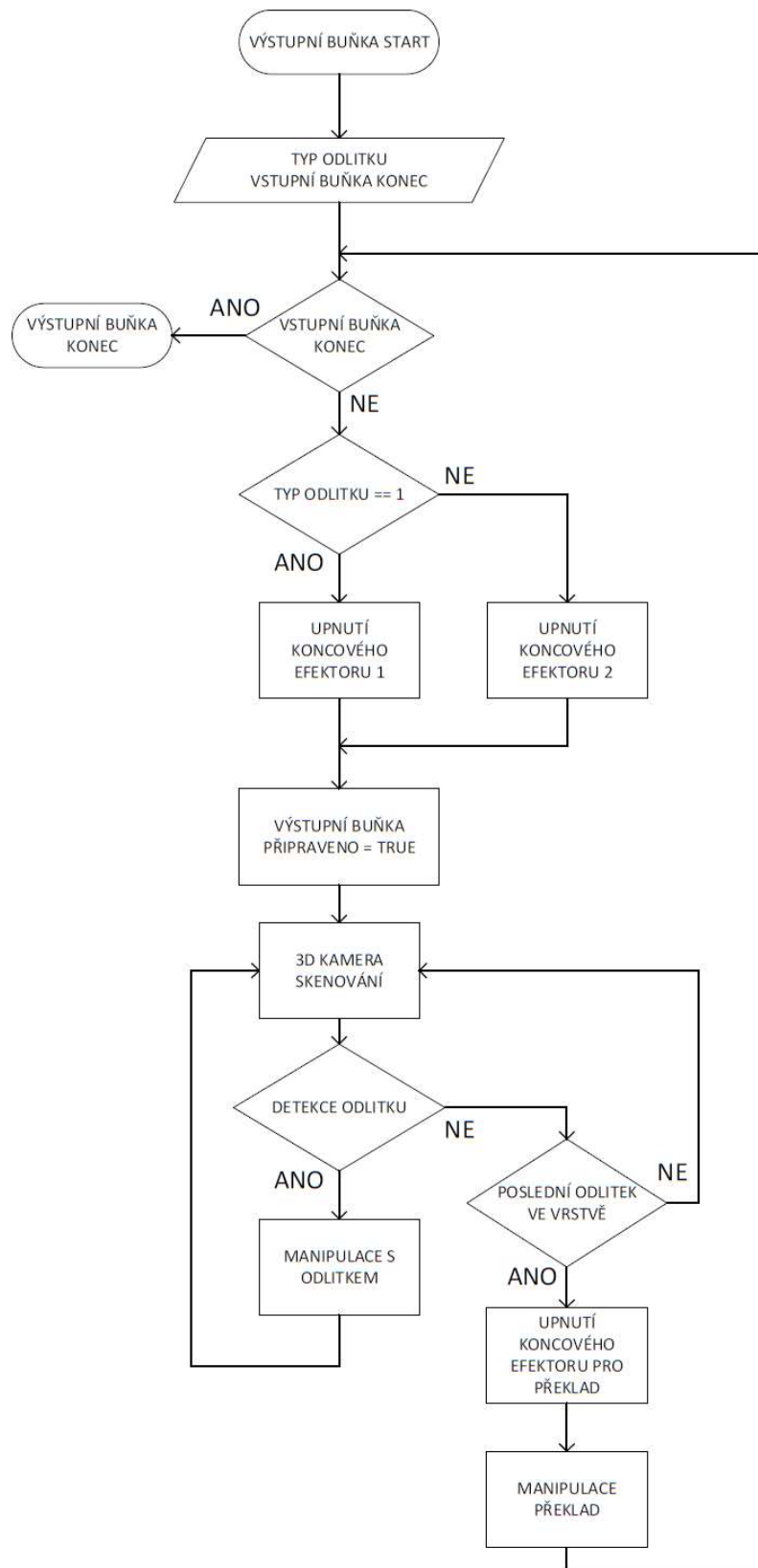
Obr. 84) Operace s unikátními čísly v robotickém programu

## 8.4 Line Simulation Mode – definice logiky událostně řízené simulace

Logika událostně řízené simulace je znázorněna ve vývojových diagramech. Jsou vytvořeny dva vývojové diagramy, které popisují řízení vstupní a výstupní části robotizované buňky.



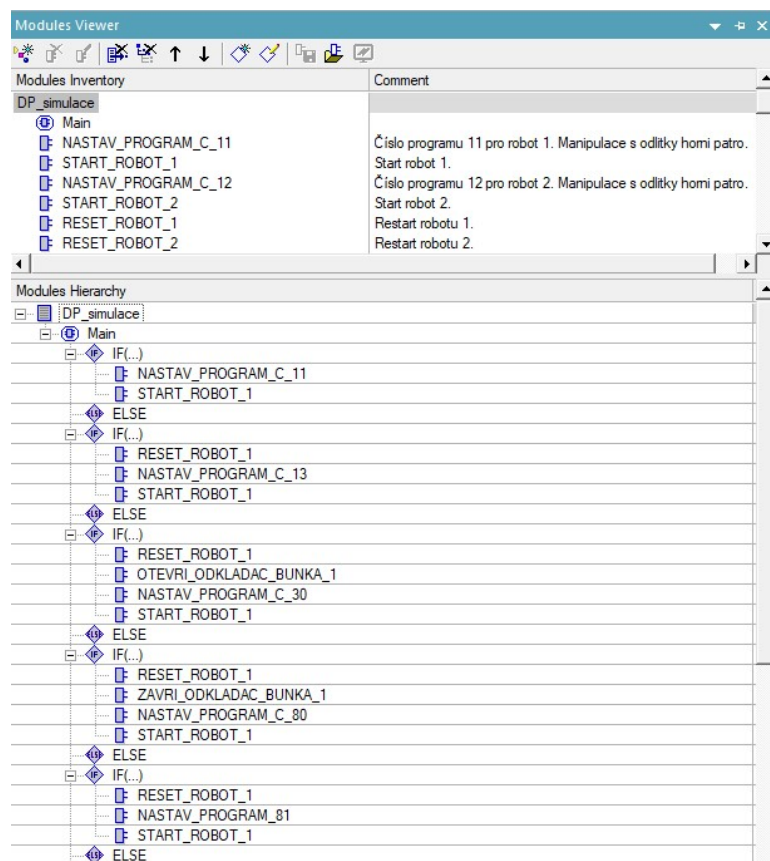
Obr. 85) Vývojový diagram pro řízení vstupní části robotizované buňky



Obr. 86) Vývojový diagram pro řízení výstupní části robotizované buňky

Pro vytvoření událostně řízené simulace je nutné zapnout v záložce *Home* režim *Line Simulation Mode*.

Na základě definovaných signálů a vývojových diagramů je vytvořena logika řízení robotizované buňky. Pro vytvoření logiky slouží moduly v *Modules Viewer* (Lze zobrazit přes *View* → *Viewers* → *Modules Viewer*).



Obr. 87) Ukázka *Modules Viewer*

V části *Modules Inventory* se vytváří uživatelem pojmenované moduly. Moduly slouží jako malé podprogramy, ve kterých se nastavují příkazy pro jednotlivé signály.



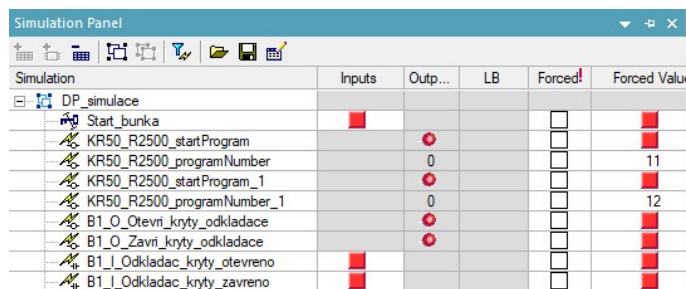
Obr. 88) Modul pro nastavení robotického signálu

V části *Modules Hierarchy* se poté jednotlivé moduly volají na základě vyhodnocení podmínek ve strukturách *IF/ELSE*.

#### 8.4.1 Řízení simulace

Událostně řízená simulace se nevytváří spojováním jednotlivých operací v *Sequence Editor*, jako u časové simulace. Jednotlivé operace jsou volány na základě vyhodnocení stavů

jednotlivých signálů. Stav signálů lze během simulace sledovat v *Simulation Panel*. Simulace je nastavena tak, že po jejím spuštění, simulace čeká na vygenerování signálu *Start\_bunka*, který lze ručně ovládat ze *Simulation Panel*. Po aktivaci tohoto signálu je simulace dále řízená na základě logiky vytvořené v *Modules Viewer*.



Obr. 89) Ukázka *Simulation Panel*

## 8.5 Vyhodnocení simulace

V následující tabulce Tab. 13 je uveden přehled časů jednotlivých manipulačních operací.

Tab 13) Průměrné časy jednotlivých operací

Název operace	Čas bez RCS [s]	Čas s RCS [s]
Skenování – Bin Picking	8	8
Manipulace odlitku z bedny na dopravník	12,54	8,6
Manipulace odlitku z dopravníku do bedny	13,38	8,49
Výměna KE pro překlad → KE pro odlitek	23,42	11
Výměna KE pro odlitek → KE pro překlad	28,34	11,36
Manipulace se dvěma překlady z palety do bedny	41,34	20,28
Manipulace se dvěma překlady z bedny do palety	32,66	20,6

Zadání definuje pracovní cyklus o maximální délce 17 sekund. Cyklus se skládá ze skenování bedny kamerovým systémem Bin-Picking a manipulace odlitku z bedny na dopravníkový pás tryskacího stroje. Vzhledem k tomu, že při skenování se vytvoří trajektorie pro obě bedny současně, je možné rozdělit dobu pro skenování mezi dvě bedny. Celková doba pro skenování jedné bedny jsou tedy 4 sekundy. Ze simulace s RCS plyne, že doba manipulace s odlitkem trvá 8,6 sekund. Průměrný pracovní cyklus je tedy 12,6 sekund, což vyhovuje zadání.

### Výrobnost pracoviště

Za předpokladu zpracování dvou kusů beden s odlitky uspořádanými ve dvou vrstvách po 24 kusech je přibližný čas zpracování 1402,3 sekund. Z toho lze odvodit přibližnou hodinovou výrobnost 240 kusů.



## 9 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V kapitole je uveden rozbor předpokládaných nákladů pro realizaci robotizovaného pracoviště.

V následující tabulce Tab. 14. jsou uvedeny odhadované náklady na jednotlivé součásti robotizované buňky. Ceny těchto součástí se skládají z nakupovaných a vyráběných dílů. Ceny nakupovaných dílů jsou získány z katalogových cen jejich výrobců. Ceny vyráběných dílů jsou odhadnuty. Podrobný rozbor nákladů jednotlivých součástí je uveden v příloze práce.

Tab 14) Ceny součástí v robotizované buňce včetně nakupovaných a vyráběných dílů

Součást	Počet kusů	Cena za 1 ks	Celková cena
Robot KUKA KR50 R2500	2	1 036 522 Kč	2 073 044 Kč
Odkladač koncových efektorů	2	38 162 Kč	76 324 Kč
Koncový efektor pro odlitek č.1	2	79 662 Kč	159 324 Kč
Koncový efektor pro odlitek č.2	2	78 236 Kč	156 472 Kč
Koncový efektor pro překlady	2	109 051 Kč	218 102 Kč
Příruba na robot	2	24 181 Kč	48 362 Kč
Ochranné oplocení vstupní části buňky	1	233 244 Kč	233 244 Kč
Ochranné oplocení výstupní části buňky	1	231 564 Kč	231 564 Kč
Bin Picking – kamerový systém	1	670 000 Kč	670 000 Kč
Výstupní kamerový systém	1	223 142 Kč	223 142 Kč
Paletový doraz	6	13 099 Kč	78 598 Kč
Elektroinstalace	1	250 000 Kč	250 000 Kč
<b>Celkem</b>			<b>4 418 176 Kč</b>

Následující tabulka Tab. 15. poskytuje přehled cen za práci při návrhu a montáži robotizované buňky.

Tab 15) Ceny práce

Práce	Počet hodin	Cena za 1 hod.	Celková cena
Konstrukční návrh	120	1100 Kč	132 000 Kč
Simulace	32	1200 Kč	38 400 Kč
Výkresová dokumentace	16	1000 Kč	16 000 Kč
Programování PLC	100	1500 Kč	150 000 Kč
Programování robotu	80	1400 Kč	112 000 Kč
Elektro projekt	80	1000 Kč	80 000 Kč
Montáž komponent na místě	80	700 Kč	56 000 Kč
<b>Celkem</b>			<b>584 400 Kč</b>

Tabulka Tab. 16 udává celkový přehled nákladů na realizaci robotizované buňky. K celkovým nákladům je připočtena 10% marže.

Tab 16) Celkový přehled nákladů

Náklady	Celková cena
Náklady na součásti včetně nakupovaných a vyráběných dílů	4 418 176 Kč
Náklady na práci	584 400 Kč
Celková náklady bez marže	5 002 576 Kč
<b>Celkové náklady s marží 10%</b>	<b>5 502 833,6 Kč</b>

Výpočet návratnosti investice je proveden na základě předpokládaných nákladů na zaměstnance. Pro přímou obsluhu tryskacího stroje jsou potřeba dva zaměstnanci. Pokud uvažujeme třísměnný provoz je potřeba celkem šest pracovníků. Předpokládané roční náklady na pracovníky jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 17.

Tab 17) Předpokládané roční náklady na zaměstnance [49]

Měsíční hrubá mzda	25 000 Kč
Měsíční čistá mzda	20 820 Kč
Celkové měsíční odvody zaměstnavatele	33 450 Kč
Náklady na 1 zaměstnance na rok	401 400 Kč
<b>Náklady na 6 zaměstnanců na rok</b>	<b>2 408 400 Kč</b>

### Výpočet návratnosti investice

$$\text{Návratnost investice} = \frac{\text{Celkové náklady}}{\text{Náklady na zaměstnance}} = \frac{5\,502\,833,6}{2\,408\,400} \approx 2,3 \text{ let} \quad (22)$$



## 10 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Aplikace robotické manipulace u průběžných tryskacích strojů je přínosná. Přínos je zejména v odstranění monotónní a v případě odlitků větší hmotnosti namáhavé práce. Dalším přínosem je rozvoj schopností pracovníků a zvyšování jejich kvalifikace pro účely obsluhy robotizované buňky.

Reálná podoba robotizované buňky pro účely obsluhy tryskacího stroje je závislá na typu tryskacího stroje, dále na prostředí a prostorovém uspořádání okolí stroje. Všechny tyto parametry určují výslednou podobu prostorového rozložení robotizované buňky. Aplikace tohoto typu obsluhy je vhodná především do nepřetržitých provozů tak, aby došlo k rychlé návratnosti investice. Důležitý je také sortiment zpracovávaných odlitků. Použitelnost robotizované obsluhy je závislá na možnostech úchopu odlitků. Návrh koncových efektorů je klíčový pro spolehlivý úchop odlitku a tím přispívá k celkové spolehlivosti robotizované buňky. Právě koncové efektor lze považovat za největší slabinu robotizované obsluhy, neboť nelze navrhnout univerzální koncový efektor pro široké spektrum odlitků. Je nutné vždy navrhnout konkrétní koncový efektor pro daný typ odlitku.

Určitou nevýhodou robotizované obsluhy tryskacího stroje může být menší rychlost manipulace v porovnání s lidskou obsluhou. Tato nevýhoda odpadá v případě těžších odlitků, kdy začne být limitem fyzická síla pracovníka.

Na začátku úvah o realizaci robotizované buňky pro obsluhu tryskacího stroje je nutné vzít do úvahy všechny výše popsané omezení. V případě sériového zpracování úzkého sortimentu odlitků je robotizovaná obsluha vhodným řešením automatizace tohoto procesu.



## 11 ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na návrh robotizované buňky pro obsluhu tryskacího stroje pro čištění odlitku ze slitiny hliníku. V první části práce byl popsán současný stav řešení problematiky. Bylo pojednáno o technologii opracování povrchu tryskáním. Dále byly popsány základní kinematické struktury používané v konstrukci průmyslových robotů. Následoval popis používaných způsobů programování průmyslových robotů a přehled různých typů koncových efektorů. Závěr kapitoly byl věnován technologii automatické výměny koncových efektorů a popisem technologie Bin-Picking.

Zadání specifikuje průběžný tryskací stroj od společnosti Rösler Oberflächentechnik GmbH. Konkrétně se jedná o model Rösler RDGE 1000-8 TF. Na základě poskytnutých údajů od výrobce byl vytvořen 3D model tohoto stroje, který přesně vystihuje jeho základní rozměry. Vytvořený model byl použit jako základní prvek pro vytvoření prostorového uspořádání robotizované buňky.

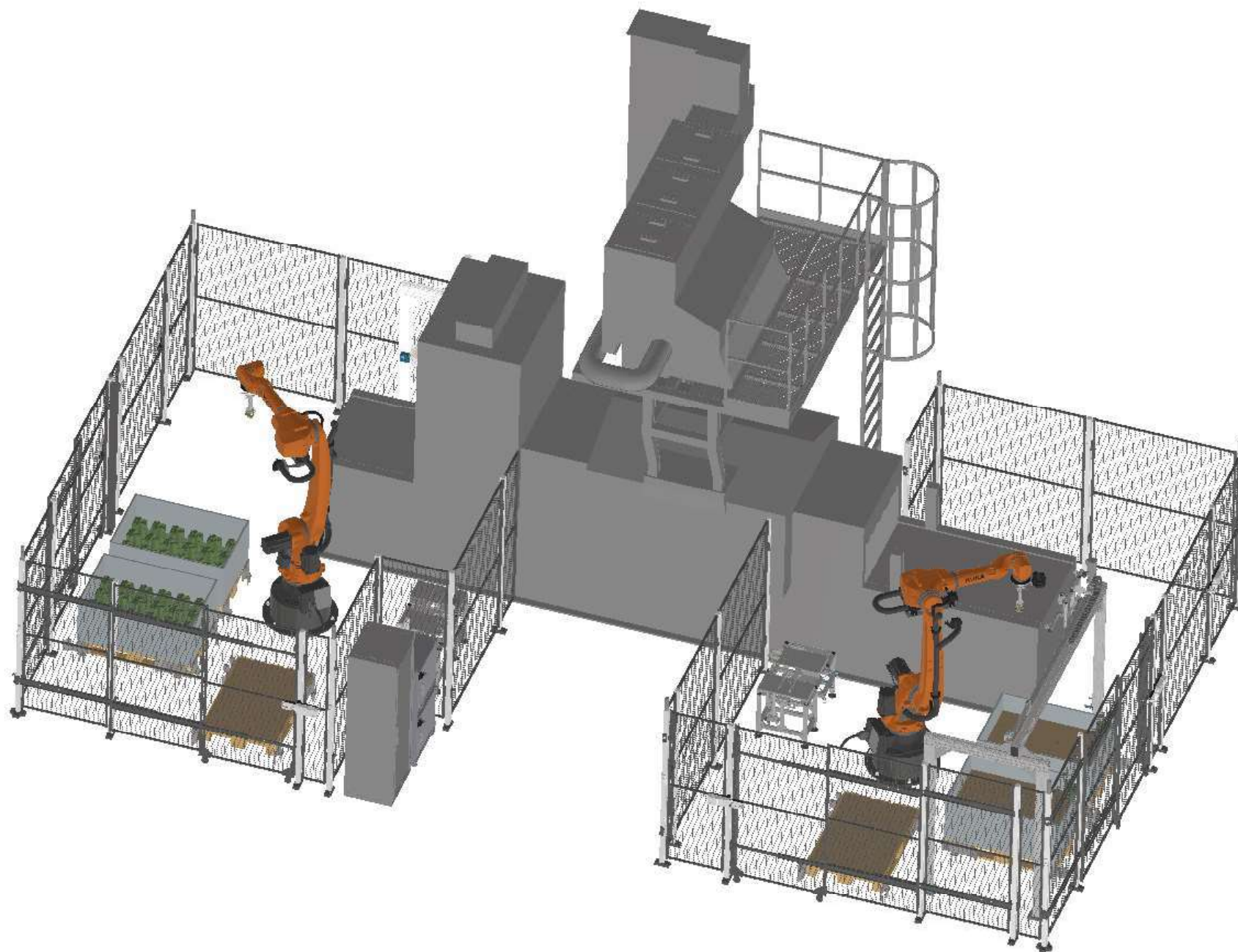
Byly navrženy celkem tři různé varianty uspořádání robotizované buňky. Na základě bodovací metody, která hodnotí jednotlivé varianty na základě několika kritérií, byla vybrána nejvhodnější varianta. Jako vítězná vyšla varianta č.3.

Na základě požadavků zadání byly navrženy celkem tři koncové efekторы. Koncový efektor pro odlitek č.1 využívá paralelní chapadlo od společnosti SCHUNK s označením PGN-plus-P 100-1, které má dvě čelisti. Koncový efektor pro odlitek č.2 je založen na středícím chapadle se třemi čelistmi od společnosti SCHUNK s označením PZN-plus 80-1. Pro potřeby manipulace s překlady byl navržen koncový efektor s přísavkami od společnosti FESTO. Všechny koncové efekторы byly vybaveny adaptéry automatické výměny SCHUNK SWA-021-000-000, včetně modulů pro přenos elektrických signálů SWO-K19-A s úhlovými konektory KAS-19B-A-90-C.

Pro odkládání koncových efektorů byl navržen odkladač koncových efektorů. Odkladač je založen na stavebnicové konstrukci z hliníkových profilů. Pro každý koncový efektor je na odkladači vytvořeno odkládací místo, které je monitorováno indukčním snímačem IFM IFT258. Palety pro bedny s odlitky a palety pro překlady jsou umístěny do paletových dorazů. Paletové dorazy byly navrženy jako svařence z plochých profilů. Přítomnost a správné usazení palety v paletovém dorazu je monitorována dvojicí difuzních snímačů se zatemněným pozadím BALLUFF BOS R254K-UII-LH10-S4. Kamerové systémy pro navádění robotu jsou zvoleny od společnosti SICK. Roboty byly vybrány na základě požadovaných nosností a dosahů. Byly zvoleny roboty KUKA KR50 R2500. Jejich parametry byly ověřeny v aplikaci KUKA COMPOSE. Ochranné oplocení vstupní i výstupní části robotizované buňky bylo zvoleno od společnosti AXELEN s výškou 2000 mm. Všechny vstupy do robotizované buňky jsou opatřeny bezpečnostními zámky ABB GKey.

Hlavním přínosem diplomové práce je vypracování simulace v softwaru Tecnomatix Process Simulate. Simulace ověřila funkčnost navrženého řešení. Na základě simulace byly zjištěny časy jednotlivých operací. Zadání specifikuje pracovní cyklus o maximální délce 17 sekund, který byl pomocí simulace s RCS splněn. Výsledný čas složený ze skenování bedny kamerovým systémem a manipulace odlitku z bedny na pás tryskacího stroje je 12,6 sekund.

V závěru práce je vypracováno technicko-ekonomické zhodnocení. Na základě katalogových cen výrobců jednotlivých komponent a ceny práce, byl stanoven odhad nákladů na 5 502 833,6 Kč.



Obr. 90) 3D pohled na robotizovanou buňku

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 stran : ilustrace (převážně barevné), portréty. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] ŠITNER, Roman. Situace na trhu práce nutí firmy investovat do automatizace. [www.ceskapozice.lidovky.cz](http://www.ceskapozice.lidovky.cz) [online]. Praha: MAFRA, 2019, 19.11.2019 [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: [https://ceskapozice.lidovky.cz/tema/situace-na-trhu-prace-nuti-firmy-investovat-do-automatizace.A191113\\_165158\\_pozice-tema\\_lube](https://ceskapozice.lidovky.cz/tema/situace-na-trhu-prace-nuti-firmy-investovat-do-automatizace.A191113_165158_pozice-tema_lube)
- [3] Otryskávání. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 30. 11. 2020 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Otrysk%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD>
- [4] Co je tryskání? Wheelabrator [online]. Norican Group, c2021 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.wheelabratorgroup.com/cs-cz/my-application/application-by-process/what-is-shot-blasting>
- [5] Tryskání metacími koly. TRYTECH [online]. Pelhřimov: Trytech, c2021, 28.12.2017 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.trytech.cz/o-tryskani/tryskani-metacimi-koly/>
- [6] Wire Mesh Belt Shot Blasting Machines. Wheelabrator [online]. Norican Group, c2021 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.wheelabratorgroup.com/cs-cz/equipment/wheelblast-machines/horizontal-machines/mesh-belt-shot-blast-machines>
- [7] Foundries and forge shops. Rösler [online]. Vorstadt 1 D-96190 Untermerzbach: RÖSLER Oberflächentechnik, 09/2017n. 1. [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://cz.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Strahltechnik/CZ\\_CS\\_Foundries\\_and\\_forge\\_shops\\_GB\\_270.pdf](https://cz.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Strahltechnik/CZ_CS_Foundries_and_forge_shops_GB_270.pdf)
- [8] HOTAŘ, Vlastimil. Průmyslové roboty a manipulátory. Tul [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2020 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/ARS-3.p%C5%99edn%C3%A1l%C5%A1ka-Prumyslove%20roboty%20a%20manipul%C3%A1tory-2020.pdf>
- [9] KR 120 R1800 nano. Kuka [online]. Zugspitzstrasse 140, 86165 Augsburg, Německo.: KUKA Deutschland [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000215751\\_cs.pdf?rev=4](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000215751_cs.pdf?rev=4)
- [10] MAW, Isaac. The What, Why and How of Delta Robots. Engineering [online]. 2018, Mar 15, 2018 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/the-what-why-and-how-of-delta-robots>
- [11] IRB 360 FlexPicker®. Abb [online]. ABB, c2021 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>
- [12] VACULÍKOVÁ, Eva. Průmyslové roboty – stále se rozvíjející oblast automatizace. Automa [online]. Ústí nad Labem: Automa – časopis pro automatizační techniku, c2016 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prumyslove-roboty-stale-se-rozvijejici-oblast-automatizace-2009\\_05\\_39016\\_4717/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prumyslove-roboty-stale-se-rozvijejici-oblast-automatizace-2009_05_39016_4717/)
- [13] WILKINS, Jonathan. Comment: understanding the methods of robot programming. Manufacturing [online]. BizClik Media Limited, c2020, Jul 14 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.manufacturingglobal.com/technology/comment-understanding-methods-robot-programming>

- [14] Teach-pendant meaning. Yourdictionary [online]. [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: <https://www.yourdictionary.com/teach-pendant>
- [15] Ovládací panel KUKA smartPAD-2 získává cenu iF DESIGN AWARD 2018. Kuka [online]. Zugspitzstraße 140, 86165 Augsburg, Německo: KUKA, c2021, 5. dubna 2018 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/tisk/novinky/2018/03/smartpad-2-if-award>
- [16] Steps of the OLP Process. Visualcomponents [online]. Vänrikinkuja 2 FI-02600 Espoo, Finland: Visual Components, December 7, 2017 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.visualcomponents.com/resources/articles/steps-of-the-olp-process/>
- [17] Robotics & Automation Simulation. Siemens [online]. Siemens, c2021 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/robotics-automation-simulation.html>
- [18] RobotStudio®. ABB [online]. ABB, c2021 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>
- [19] KOLÍBAL, Zdeněk a Zdeněk KADLEC. Průmyslové roboty II. Konstrukce výstupních hlavic a periferií. Brno: PC DIR, 1993, 165 s. ISBN 80-214-0533-3.
- [20] MONKMAN, Gareth J. Robot grippers. Weinheim: Wiley-VCH, c2007. ISBN 978-3-527-40619-7.
- [21] Nebojte se bin pickingu. MM průmyslové spektrum [online]. MM Průmyslové spektrum., c2001-2021, 04. 03. 2020 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nebojte-se-bin-pickingu>
- [22] Bin Picking pro automatické polohování přesných objektů [online]. Blumenbecker Group [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/cz/prumyslova-automatizace/prumyslove-roboty/bin-picking>
- [23] SICK: Sensor Intelligence [online]. SICK, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/>
- [24] Photoneo: Focused on 3D [online]. c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.photoneo.com/>
- [25] SOLOMON: Vision with Intelligence [online]. SOLOMON TECHNOLOGY CORPORATION, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.solomon-3d.com/>
- [26] Pickit [online]. Pick-it N.V., c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.pickit3d.com/>
- [27] Metody výběru variant. People.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://people.fsv.cvut.cz/~k126/predmety/126pm01/pm01\\_mv.pdf](https://people.fsv.cvut.cz/~k126/predmety/126pm01/pm01_mv.pdf)
- [28] Vyhodnocení variant: Příloha Vzdělávacího manuálu pro hodnocení dopadů regulace (RIA) [online]. [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://www.vlada.cz/assets/ppov/lrv/ria/Vzdelavaci-manual-pro-RIA-UV-2017-priloha-Vyhodnoceni-variant\\_1.pdf](https://www.vlada.cz/assets/ppov/lrv/ria/Vzdelavaci-manual-pro-RIA-UV-2017-priloha-Vyhodnoceni-variant_1.pdf)
- [29] PGN-plus-P 100-1. SCHUNK [online]. SCHUNK GmbH & Co., c2021 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/uchopovaci-systemy/product/47895-0318544-pgn-plus-p-100-1/](https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/47895-0318544-pgn-plus-p-100-1/)
- [30] PZN-plus 80-1. SCHUNK [online]. SCHUNK GmbH & Co., c2021 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/uchopovaci-systemy/product/2312-0303311-pzn-plus-80-1/](https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/2312-0303311-pzn-plus-80-1/)

- [31] Basic principles of vacuum technology, brief overview. FESTO [online]. [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/286804/Basic\\_Vacuum\\_Technology\\_P](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/286804/Basic_Vacuum_Technology_P)
- [32] Vakuové přísavky ESG. FESTO [online]. 2016/07 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/ESG\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ESG_CZ.PDF)
- [33] Hadice z plastu, kalibrovaný vnější průměr. FESTO [online]. 2020/09 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/OD-TUBING\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/OD-TUBING_CZ.PDF)
- [34] Vakuové ejektory. FESTO [online]. 2006/10 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_CS/PDF/CZ/VADM\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/VADM_CZ.PDF)
- [35] SWA-021-000-000. SCHUNK [online]. SCHUNK GmbH & Co., c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/uchopovaci-systemy/product/17981-0302327-swa-021-000-000/](https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/17981-0302327-swa-021-000-000/)
- [36] IFT258 - Celokovový indukční senzor - ifm electronic. Ifm [online]. Praha 4 – Michle: ifm electronic, c2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/IFT258?tab=details>
- [37] BOS0285 - BOS R254K-UII-LH10-S4. BALLUFF [online]. Balluff CZ, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/product/?key=BOS0285#/>
- [38] BLG0001 - BLG 1-010-210-050-PV01-SX. BALLUFF [online]. Balluff CZ, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/product/?key=BLG0001#/>
- [39] Ranger-E55414 | Průmyslové zpracování obrazu | SICK. SICK: Sensor Intelligence [online]. SICK, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/prumyslove-zpracovani-obrazu/3d-machine-vision/ranger/ranger-e55414/p/p165863>
- [40] 3D Machine Vision | TriSpectorP1000 | SICK. SICK: Sensor Intelligence [online]. SICK, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/prumyslove-zpracovani-obrazu/3d-machine-vision/trispectorp1000/c/g453252>
- [41] KR IONTEC | KUKA AG. KUKA [online]. KUKA CEE GmbH, odštěpný závod, Pražská 239, 25066 Zdiby, Česká republika: KUKA, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-iontec>
- [42] KUKA Compose |. KUKA [online]. KUKA, c2019 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://compose.kuka.com/>
- [43] KR 50 R2500. KUKA [online]. Zugspitzstrasse 140, 86165 Augsburg, Germany.: KUKA Deutschland [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000334818\\_en.pdf?rev=b](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000334818_en.pdf?rev=b)
- [44] Axelent X-Guard Machine Guarding. AXELENTE [online]. [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.axelent.com/cz/products/machine-guarding/x-guard-machine-guarding/>
- [45] ČSN EN ISO 13857: Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných zón horními a dolními končetinami. Česká agentura pro standardizaci, 2021.
- [46] Bezpečnostní zámek pro průmysl - GKey | ABB - Bezpečnostní snímače, spínače a zámky (Bezpečnostní systémy). ABB [online]. ABB, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné

- z: <https://new.abb.com/low-voltage/cs/nizke-napeti/produkty/bezpecnostni-systemy/bezpecnostni-snimace-spinace-a-zamky/gkey>
- [47] Smile - Zařízení pro nouzová zastavování a kontrolní a ovládací zařízení (Bezpečnostní systémy) | ABB. ABB [online]. ABB, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://new.abb.com/low-voltage/cs/nizke-napeti/produkty/bezpecnostni-systemy/zarizeni-pro-nouzova-zastavovani-a-konktrolni-a-ovladaci-zarizeni/smile>
  - [48] XVC4B3K - signální sloup 40 mm 24 V trvalý LED - zelená/oranžová/červená | Schneider Electric Česká Republika. Schneider Electric [online]. Schneider Electric, c2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/XVC4B3K/sign%C3%A1ln%C3%AD-sloup-40-mm-24-v-trval%C3%BD-led---zelen%C3%A1-oran%C5%BEov%C3%A1-%C4%8Derven%C3%A1/?range=2102-harmony-xvc&selected-node-id=29108209790&parent-subcategory-id=5010>
  - [49] Mzdová kalkulačka pro rok 2021 | KELOC CS. KELOC [online]. [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.keloc-software.cz/mzdova-kalkulacka/>
  - [50] WOLF, Andreas, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. Grippers in Motion: The Fascination of Automated Handling Tasks. Berlin: Springer, 2005. ISBN 3-540-25657-1.
  - [51] GKey product sheet. ABB [online]. Kungsbacka: ABB, c2018 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC010054L0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
  - [52] Smile: Emergency stop with indication. ABB [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: [https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC172001C0202\\_smile&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC172001C0202_smile&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)
  - [53] ČSN EN ISO 13850: Bezpečnost strojních zařízení – Funkce nouzového zastavení – Zásady pro konstrukci. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Veličina	Jednotka
$a$	Zrychlení robotu	$[m \cdot s^{-2}]$
$b_i$	Bodová hodnota kritéria i	[-]
$F_H$	Celková potřebná uchopovací síla – horizontální směr	[N]
$F_{př}$	Celková potřebná uchopovací síla na jednu přísavku	[N]
$F_t$	Třecí síla	[N]
$F_u$	Požadovaná uchopovací síla	[N]
$F_V$	Celková potřebná uchopovací síla – vertikální směr	[N]
$g$	Tíhové zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
$k$	Počet kritérií	[-]
$m$	Hmotnost překladu	[Kg]
$m_{KE}$	Hmotnost překladu včetně koncového efektoru	[Kg]
$m_o$	Hmotnost odlitku	[Kg]
$M_p$	Manipulace se dvěma překlady z palety do bedny	[s]
$M_X$	Moment kolem osy X	[Nm]
$M_Y$	Moment kolem osy Y	[Nm]
$M_Z$	Moment kolem osy Z	[Nm]
$n$	Počet kusů dané součásti	[-]
$n_{př}$	Celkový počet přísavek na koncovém efektoru	[-]
$p_i$	Pořadí kritéria dle důležitosti	[-]
$r_p$	Vzdálenost těžiště koncového efektoru s překladem od čela adaptéru	[m]
$r_x$	Vzdálenost těžiště od čela chapadla v ose X	[m]
$r_y$	Vzdálenost těžiště od čela chapadla v ose Y	[m]
$r_z$	Vzdálenost těžiště od čela chapadla v ose Z	[m]
$S$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$t_{celkový}$	Celkový čas pro vytvoření podtlaku -0,8 bar	[s]
$t_{e\_VADMI\_95}$	Čas za který ejektor odsaje 1 litr vzduchu, při podtlaku -0,8 bar	[s]
$v_{celkový}$	Celkový objem všech pneumatických komponent	$[cm^3]$
$v_{had\_6}$	Celkový objem hadic PUN - 6	$[cm^3]$
$v_{had\_8}$	Celkový objem hadic PUN - 8	$[cm^3]$
$v_i$	Normovaná váha kritéria	[-]
$v_{př}$	Objem přísavky	$[cm^3]$
$v_{QSQ\_8\_6}$	Objem rozbočovače QSQ-8-6	$[cm^3]$
$v_{QSY\_8}$	Objem rozbočovače QSY-8	$[cm^3]$

$\mu$	Koeficient tření mezi čelistí a odlitkem	[-]
$\mu_1$	Koeficient tření mezi přísavkou a překladem	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1)	Schéma technologie tryskání metacím kolem [6].....	17
Obr. 2)	Průběžný tryskací stroj firmy Rösler Oberflächentechnik GmbH [7] .....	18
Obr. 3)	Ruční tryskání [3] .....	18
Obr. 4)	Struktura TTT s pracovním prostorem kvádra [8] .....	19
Obr. 5)	Struktura RRT s pracovním prostorem válce [8].....	19
Obr. 6)	Struktura RRT s pracovním prostorem kulového segmentu [8] .....	20
Obr. 7)	Struktura RRR s řezem pracovního prostoru [8] .....	20
Obr. 8)	Průmyslový robot KUKA KR 120 R1800 nano [9] .....	21
Obr. 9)	DELTA robot ABB IRB 360 FlexPicker® [11].....	21
Obr. 10)	Teach-pendant KUKA smartPAD-2 [15] .....	22
Obr. 11)	Schéma efektoru s pneumatickým pohonem a klínovým mechanismem [20] .....	25
Obr. 12)	Schéma efektoru s pneumatickým pohonem a ozubeným převodem [20] .....	25
Obr. 13)	Schéma efektoru s elektromotorem a převodem šroub – matice [20] .....	25
Obr. 14)	Schéma efektoru s pneumatickým pohonem a rotačním pohybem čelistí [20] .....	26
Obr. 15)	Standartní řadové ejektory s přísavkami [31].....	26
Obr. 16)	Kompaktní ejektor FESTO [34] .....	27
Obr. 17)	Schématické znázornění automatické výměny koncového efektoru [20] .....	28
Obr. 18)	Vizualizace technologie Bin-Picking [22].....	28
Obr. 19)	Odlitek č.1 .....	32
Obr. 20)	Odlitek č.2 .....	32
Obr. 21)	Přibližný 3D model průběžného tryskacího stroje Rösler RDGE 1000-8 TF .....	34
Obr. 22)	Pohled shora .....	34
Obr. 23)	Pohled zepředu .....	35
Obr. 24)	Prostory pro údržbu stroje .....	35
Obr. 25)	Varianta č.1 .....	37
Obr. 26)	Varianta č.2.....	38
Obr. 27)	Varianta č.3.....	38
Obr. 28)	Zobrazení ploch pro uchycení odlitku č.1 .....	41
Obr. 29)	Závislost uchopovací síly na délce čelistí [29].....	42
Obr. 30)	Momenty působící na chapadlo [29] .....	43
Obr. 31)	a) pohled na čelist zepředu, b) pohled na čelist zezadu.....	44
Obr. 32)	a) pohled na dvojitou čelist zepředu, b) pohled na dvojitou čelist zezadu .....	45
Obr. 33)	Koncový efektor pro odlitek č. 1 .....	46
Obr. 34)	a) Pohled zepředu na odlitek č. 2 b) ISO pohled na odlitek č. 2 .....	47
Obr. 35)	Rozbor sil pro úchop středícím chapadlem: a) pohled zepředu, b) pohled shora..	47
Obr. 36)	Závislost uchopovací síly na délce čelistí [30].....	49
Obr. 37)	Momenty působící na chapadlo [30] .....	49
Obr. 38)	a) pohled na čelist zepředu, b) pohled na čelist zezadu.....	51
Obr. 39)	Koncový efektor pro odlitek č.2 .....	52
Obr. 40)	Pohyb překlada ve vertikálním směru [31] .....	53
Obr. 41)	Pohyb překlada v horizontálním směru [31] .....	53
Obr. 42)	Čas potřebný pro odsátí jednoho litru vzduchu v závislosti podtlaku [34] .....	55
Obr. 43)	Konstrukce koncového efektoru pro překlady.....	57
Obr. 44)	Rám odkladače koncových efektorů.....	58
Obr. 45)	Rám s osazenou horní deskou .....	59

Obr. 46)	Stojan pro koncové efektory s kryty .....	59
Obr. 47)	Koncové efektory uložené v odkladači koncových efektorů .....	60
Obr. 48)	Podložka s integrovaným indukčním snímačem .....	60
Obr. 49)	Doraz na paletu.....	61
Obr. 50)	Správně usazená paleta v paletovém dorazu .....	61
Obr. 51)	Pohled na umístění světelné mřížky .....	62
Obr. 52)	Ilustrace snímání zóny světelné mřížky .....	62
Obr. 53)	Konstrukce stojanu pro Bin picking.....	63
Obr. 54)	Stojan pro 3D kameru a detail na uchycení kamery.....	64
Obr. 55)	Schéma zadání hodnot - KUKA COMPOSE [42] .....	65
Obr. 56)	Statické zatížení os robotů – KUKA COMPOSE [42] .....	66
Obr. 57)	Dynamické zatížení os robotů – KUKA COMPOSE [42] .....	66
Obr. 58)	Příruba robotu KUKA KR50 R2500 [43] .....	67
Obr. 59)	Mezikus pro připojení adaptéru automatické výměny s přírubou robotu .....	67
Obr. 60)	Modul pro čištění adaptérů automatické výměny stlačeným vzduchem.....	68
Obr. 61)	Příruba robotu.....	68
Obr. 62)	Ochranné oplocení vstupní části buňky .....	69
Obr. 63)	Ochranné oplocení výstupní části buňky .....	70
Obr. 64)	Bezpečnostní zámek ABB GKey [46] .....	70
Obr. 65)	Tlačítko nouzového zastavení ABB Smile [47].....	71
Obr. 66)	Signální sloup [48] .....	71
Obr. 67)	Nastavení simulace.....	73
Obr. 68)	Definice operace <i>New Generic Robotic Operation</i> .....	73
Obr. 69)	Funkce pro přidávání průjezdných bodů v prostoru.....	74
Obr. 70)	Vytvořená trajektorie s průjezdnými body a dalším nastavením .....	74
Obr. 71)	Definice pásového dopravníku tryskacího stroje .....	75
Obr. 72)	Výběr akcí pro dopravník.....	75
Obr. 73)	Vytvoření signálů pro řízení dopravníku .....	76
Obr. 74)	Definice vazeb mezi součástmi koncového efektoru pro odlitek č.2.....	77
Obr. 75)	Definování stavů otevřeno/zavřeno.....	77
Obr. 76)	Nastavení koncového efektoru a součástí pro úchop .....	78
Obr. 77)	Definice vazeb mezi součástmi odkladače koncových efektorů .....	78
Obr. 78)	Definování stavů Otevřeno/Zavřeno u odkladače koncových efektorů .....	79
Obr. 79)	Volba stavů pro vytvoření logického bloku .....	79
Obr. 80)	Definice vstupních signálů v logickém bloku odkladače .....	80
Obr. 81)	Definice výstupních signálů v logickém bloku odkladače .....	80
Obr. 82)	Signály v <i>Robot Signals</i> .....	81
Obr. 83)	Robot Program Inventory.....	81
Obr. 84)	Operace s unikátními čísly v robotickém programu .....	81
Obr. 85)	Vývojový diagram pro řízení vstupní části robotizované buňky .....	82
Obr. 86)	Vývojový diagram pro řízení výstupní části robotizované buňky .....	83
Obr. 87)	Ukázka <i>Modules Viewer</i> .....	84
Obr. 88)	Modul pro nastavení robotického signálu .....	84
Obr. 89)	Ukázka <i>Simulation Panel</i> .....	85
Obr. 90)	3D pohled na robotizovanou buňku.....	92

## SEZNAM TABULEK

Tab 1)	Parametry odlitku č.1 .....	32
Tab 2)	Parametry odlitku č.2 .....	32
Tab 3)	Definice hodnotících kritérií .....	39
Tab 4)	Určení vah kritérií .....	40
Tab 5)	Hodnocení variant .....	40
Tab 6)	Parametry chapadla SCHUNK PGN-plus-P 100-1 [29] .....	42
Tab 7)	Parametry chapadla SCHUNK PZN-plus 80-1 [30] .....	48
Tab 8)	Parametry přísavky [32] .....	54
Tab 9)	Tabulka použitých pneumatických komponent s parametry .....	55
Tab 10)	Parametry adaptéru SCHUNK SWA-021-000-000 [35] .....	57
Tab 11)	Parametry robotů KUKA KR IONTEC [41] .....	65
Tab 12)	Údaje z programu Autodesk INVENTOR .....	66
Tab 13)	Průměrné časy jednotlivých operací .....	85
Tab 14)	Ceny součástí v robotizované buňce včetně nakupovaných a vyráběných dílů ....	87
Tab 15)	Ceny práce .....	88
Tab 16)	Celkový přehled nákladů .....	88
Tab 17)	Předpokládané roční náklady na zaměstnance [49] .....	88



## SEZNAM PŘÍLOH

Typ přílohy	Název	Popis
Výkres	Robotizovana_bunka.pdf	Výkres prostorového uspořádání robotizované buňky
Výkres	KE_odlitek_1.pdf	Výkres koncového efektoru pro odlitek č.1
Výkres	KE_odlitek_2.pdf	Výkres koncového efektoru pro odlitek č.2
Výkres	KE_překlad	Výkres koncového efektoru pro překlad
Výkres	Kusovník_ke_odlitek_1.pdf	Koncový efektor č.1 - kusovník
Výkres	Kusovník_ke_odlitek_2.pdf	Koncový efektor č.2 - kusovník
Výkres	Kusovník_ke_překlad.pdf	Koncový efektor pro překlad - kusovník
Výkres	Kusovník_robotizovana_bunka.pdf	Robotizovaná buňka - kusovník
Tabulka	Cenové kalkulace.pdf	Cenové kalkulace navrhovaných součástí
Diagram	Vývojové diagramy.pdf	Vývojové diagramy
Video	DP_Vrana_Vojtech_video_manipulace_odlitek_1.mkv	Video zachycující činnost robotizované buňky s odlitkem č.1
Video	DP_Vrana_Vojtech_video_manipulace_odlitek_2.mkv	Video zachycující činnost robotizované buňky s odlitkem č.2
3D CAD	DP_Vrana_Vojtech_robotizovana_bunka.jt	3D model robotizované buňky